

# Die Kapitalintensität der schweizerischen Holzproduktion

Eine theoretische und empirische Untersuchung

Inauguraldissertation  
zur Erlangung der Würde eines  
Doctor rerum politicarum  
der Rechts- und Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Bern

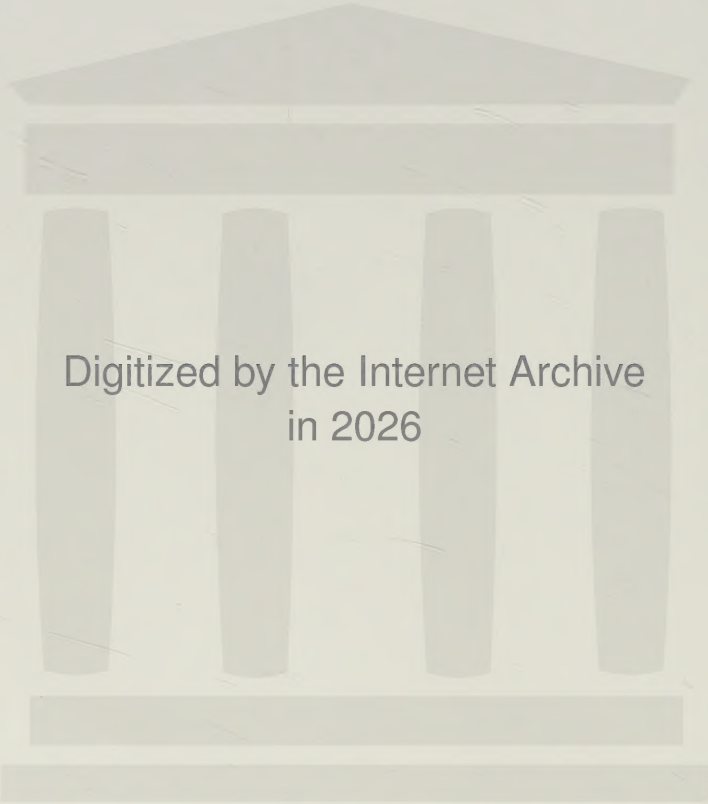
vorgelegt von

Peter Manz  
von Aarau

Verlag Paul Haupt Bern 1986







Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41546607\\_0003](https://archive.org/details/IA41546607_0003)

# Die Kapitalintensität der schweizerischen Holzproduktion

Eine theoretische und empirische Untersuchung

Inauguraldissertation  
zur Erlangung der Würde eines  
Doctor rerum politicarum  
der Rechts- und Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Bern

vorgelegt von

Peter Manz  
von Aarau

Verlag Paul Haupt Bern 1987

Die Fakultät hat diese Arbeit am 13. November 1986 auf Antrag von Prof. Dr. J. Niehans als Dissertation angenommen, ohne damit zu den darin ausgesprochenen Auffassungen Stellung nehmen zu wollen.

Diese Arbeit erscheint unter dem gleichen Titel als Band 51 der "Berner Beiträge zur National-ökonomie" im Verlag Paul Haupt Bern und Stuttgart

ISBN 3-258-03831-7

Alle Rechte vorbehalten  
Copyright © 1987 by Paul Haupt Berne  
Printed in Switzerland

## Meinen Eltern



## Vorwort

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die zum Gelingen der vorliegenden Untersuchung beigetragen haben. Besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. J. Niehans für die in allen Phasen der Arbeit gewährte, die Forschung anregende Betreuung. Hilfreich war die Unterstützung von Herrn Dr. E.P. Grieder, der vor Jahren den bearbeiteten Fragenkomplex anregte. Für das der Studie entgegengebrachte Interesse möchte ich auch Frau Prof. Dr. H. Schelbert-Syfrig und den Herren D. Altwegg, Dr. P. Bachmann, Dr. W. Keller, Dr. C. Ley and Dr. M. Zanetti danken. Die finanzielle Unterstützung seitens des Kuratoriums zur Verwaltung des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung sei hiermit verdankt.

Ferner bin ich Prof. Dr. M. Catalan - bei dem ich als Assistent tätig war - für das Verständnis, das er der Arbeit entgegengebracht hat, und für die mir grosszügig gewährte Freiheit zur Ausführung der Dissertation zu Dank verpflichtet.

Verdankt sei schliesslich die wertvolle Arbeit von Frau C. Duff bei der Reinschrift des Manuskripts.

Bern, November 1986

P. Manz



## INHALTSVERZEICHNIS

### **I. Teil : Einführung**

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
|                                                       | 1  |
| 1. Problemstellung                                    | 1  |
| 1.1 Einleitung                                        | 1  |
| 1.2 Der Schweizer Wald - eine kurze Charakterisierung | 3  |
| 1.3 Gesetzliche Vorschriften und Betriebsstruktur     | 7  |
| 1.4 Wertverhältnisse                                  | 10 |
| 1.5 Problemidentifikation                             | 13 |
| 2. Zum Waldsterben in der Schweiz                     | 15 |
| 2.1 Ursachen und Ausmass der Waldschäden              | 15 |
| 2.2 Auswirkungen auf die Problemstellung              | 18 |
| 3. Aufbau der Arbeit                                  | 20 |
| Fussnoten zu Teil I                                   | 22 |

### **II. Teil : Eine kurze Literaturübersicht**

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 1. Einleitung                                                  | 23 |
| 2. Forstökonomische Beiträge des 19. Jahrhunderts              | 25 |
| 2.1 Die Leistung M. Faustmanns                                 | 25 |
| 2.2 Maximierung des Bodenwertes                                | 26 |
| 2.3 Graphische Darstellung des Optimierungsproblems            | 28 |
| 2.4 Komparative Statik                                         | 30 |
| 2.5 Oekonomische Interpretation der Faustmann-Optimierung      | 32 |
| 2.6 Der Beitrag von J.H. von Thünen                            | 33 |
| 2.7 Der Reinertragsstreit und die Verdrängung der Zinsrechnung | 34 |

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 3. Forstökonomische Beiträge des 20. Jahrhunderts | 38 |
| 3.1 Wicksell und Fisher                           | 38 |
| 3.2 Wiederentdeckung der Faustmann-Optimierung    | 40 |
| 3.3 Optimal Control                               | 41 |
| Fussnoten zu Teil II                              | 43 |

### III. Teil : Ein von Thünen-Faustmann-Wicksell-Modell zur Bestimmung der Kapitalintensität der Holzproduktion

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Einleitung                                                                              | 45 |
| 2. Der Kapitalcharakter der Holzproduktion                                                 | 48 |
| 2.1 Die Produktionsfunktion in allgemeiner Formulierung                                    | 48 |
| 2.2 Die Produktionstechnik                                                                 | 50 |
| 2.3 Erlöse und Kosten im stationären Gleichgewicht - der Waldwert                          | 54 |
| 2.4 Der Bodenwert                                                                          | 59 |
| 2.5 Der Holzkapitalwert eines Einzelbestandes                                              | 61 |
| 2.6 Der Holzkapitalwert im synchronisierten Wald                                           | 67 |
| 3. Volkswirtschaftliche Gewinne durch Optimierung der Kapitalintensität der Holzproduktion | 72 |
| 3.1 Der Bodenwert als Optimalitätskriterium - die Optimierung                              | 72 |
| 3.1.1 Der optimale Bodenwert                                                               | 73 |
| 3.1.2 Der optimale Holzkapitalwert eines Einzelbestandes                                   | 74 |
| 3.1.3 Der optimale Boden- und Holzkapitalwert im synchronisierten Wald                     | 76 |
| 3.2 Der volkswirtschaftliche Gewinn und dessen Teile bei Optimierung des Kapitalbestandes  | 80 |
| 3.2.1 Verkürzung der Produktionsperiode ins Optimum                                        | 81 |
| 3.2.2 Verlängerung der Produktionsperiode ins Optimum                                      | 89 |
| 3.2.3 Ergebnis der Analyse des volkswirtschaftlichen Gewinnes                              | 94 |
| Fussnoten zu Teil III                                                                      | 95 |

#### IV. Teil : Die Kapitalintensität der Holzproduktion und der volkswirtschaftliche Gewinn am Beispiel der schweizerischen Forstwirtschaft

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Einleitung                                                  | 97  |
| 2. Messtechnik und Annahmen                                    | 100 |
| 3. Rahmenbedingungen, Approximationen und Datenbasis           | 102 |
| 3.1 Waldbauliche Eckwerte                                      | 102 |
| 3.1.1 Zuwachs                                                  | 102 |
| 3.1.2 Fläche                                                   | 102 |
| 3.1.3 Holzabgabe und Nutzung                                   | 102 |
| 3.1.4 Holzvorrat                                               | 103 |
| 3.1.5 Umtriebszeit                                             | 103 |
| 3.1.6 Altersstruktur                                           | 103 |
| 3.1.7 Mischungsgrade                                           | 105 |
| 3.2 Wachstums- und Durchforstungsfunktionen                    | 105 |
| 3.3 Konsumentenpreise und Zinssätze                            | 110 |
| 3.4 Erlöse und Kosten                                          | 111 |
| 3.4.1 Berechnung von Durchschnitten                            | 112 |
| 3.4.2 Erntekostenfreier Erlös pro Kubikmeter Holzmasse         | 112 |
| 3.4.3 Verwaltung und Unterhalt                                 | 112 |
| 3.4.4 Kulturen und Jungwuchs                                   | 113 |
| 4. Das Berechnungsverfahren                                    | 114 |
| 4.1 Holzmassen                                                 | 114 |
| 4.2 Boden- und Bestandeskapitalwerte                           | 118 |
| 4.2.1 Bewertung der Holzmasse                                  | 118 |
| 4.2.2 Durchforstungssumme                                      | 121 |
| 4.2.3 Bodenwert und optimale Produktionsperiodenlänge          | 122 |
| 4.2.4 Suboptimale Holzkapitalwerte                             | 123 |
| 4.2.5 Optimale Holzkapitalwerte                                | 124 |
| 4.2.6 Um die Bodenwertsteigerung reduzierte Holzkapitalwerte   | 125 |
| 4.2.7 Graphische Darstellung empirischer Holzkapitalwertkurven | 125 |



|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3 Berechnung des volkswirtschaftlichen Gewinnes                                   | 128 |
| 4.3.1 Die Berechnungen im Ueberblick                                                | 128 |
| 4.3.2 Vorratsveränderung                                                            | 130 |
| 4.3.3 Veränderung der Holzkapital-, Boden- und Waldwerte                            | 130 |
| 4.3.4 Holzerlöse und Investitionen                                                  | 131 |
| 4.3.5 Volkswirtschaftliche Gewinne                                                  | 133 |
| 4.3.6 Als jährliche Ströme                                                          | 134 |
| 5. Resultate                                                                        | 135 |
| 5.1 Einleitung                                                                      | 135 |
| 5.2 Optimale Produktionsperiodenlängen                                              | 136 |
| 5.3 Boden-, Holzkapital- und Waldwerte                                              | 137 |
| 5.4 Volkswirtschaftliche Gewinne                                                    | 143 |
| 5.5 Sensitivitätsanalyse                                                            | 152 |
| 5.6 Volkswirtschaftliche Gewinne bei Berücksichtigung der effektiven Altersstruktur | 161 |
| 5.7 Zusammenfassung der Resultate                                                   | 168 |
| Fussnoten zu Teil IV                                                                | 174 |

**V. Teil : Zusammenfassung und Ausblick**

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Einleitung                                              | 177 |
| 2. Zusammenfassung der Ergebnisse                          | 179 |
| 2.1 Voraussetzungen und Annahmen                           | 179 |
| 2.2 Das Modell                                             | 181 |
| 2.3 Die Anwendung auf schweizerische Verhältnisse          | 184 |
| 3. Forstpolitischer Ausblick                               | 189 |
| 3.1 Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen im Zeitablauf | 189 |
| 3.2 Finanzielle Auswirkungen                               | 192 |
| 3.3 Qualitative Auswirkungen                               | 194 |

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| <b>Anhang A : Mathematische Herleitungen</b> | 197 |
|----------------------------------------------|-----|

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| <b>Anhang B : Ergebnisse der Computersimulationen</b> | 213 |
|-------------------------------------------------------|-----|

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>Literaturverzeichnis</b> | 239 |
|-----------------------------|-----|

## Verzeichnis der Graphiken

|       |                                                                         |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.2.1 | Die Bestimmung der optimalen Umtriebszeit                               | 28  |
| 2.2.2 | Die Bestimmung der optimalen Umtriebszeit und des maximalen Bodenwertes | 30  |
| 2.2.3 | Komparative Statik                                                      | 31  |
| 2.3.1 | Die Optimierung eines Investitionszyklus                                | 39  |
| 3.2.1 | Markt- und Kapitalwerte eines Einzelbestandes                           | 63  |
| 3.2.2 | Kapitalwerte bei unterschiedlichen Zinssätzen                           | 65  |
| 3.2.3 | Der Holzkapitalwert im synchronisierten Wald                            | 69  |
| 3.3.1 | Optimierung der Holzkapitalwerte von Einzelbeständen                    | 76  |
| 3.3.2 | Beispiel zum Wert des synchronisierten Waldes                           | 79  |
| 3.3.3 | Der Holzkapitalteil des volkswirtschaftlichen Gewinnes                  | 84  |
| 3.3.4 | Der Bodenwertteil des volkswirtschaftlichen Gewinnes                    | 87  |
| 3.3.5 | Der kapitalisierte volkswirtschaftliche Gewinn (1)                      | 88  |
| 3.3.6 | Der kapitalisierte volkswirtschaftliche Gewinn (2)                      | 93  |
| 4.4.1 | Kapitalwerte für Fichte 14 m                                            | 126 |
| 4.4.2 | Kapitalwerte für Buche 16 m                                             | 127 |
| 5.3.1 | Verlauf der Anpassungen                                                 | 191 |

## Verzeichnis der Tabellen

|        |                                                                        |     |
|--------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.1.1  | Waldfläche nach Regionen in Hektaren bzw. Prozent der Gesamtwaldfläche | 4   |
| 1.1.2  | Tatsächliche und ideale Flächenanteile der Entwicklungsstufen          | 5   |
| 1.1.3  | Stehender durchschnittlicher Holzvorrat                                | 5   |
| 1.1.4  | Erschlossene öffentliche Waldfläche                                    | 6   |
| 1.1.5  | Betriebsergebnisse der öffentlichen Forstbetriebe                      | 11  |
| 1.1.6  | Erlöse und Kosten in Preisen des Jahres 1985                           | 11  |
| 1.1.7  | Wert des Holzvorrates und Waldwerte                                    | 12  |
| 1.2.1  | Schadstufenbildung aus der Nadel- und Blattverlustschätzung            | 16  |
| 1.2.2  | Anteil gesunder und geschädigter Bäume im öffentlichen Wald            | 17  |
| 1.2.3  | Schadstufenanteile im gesamten Wald 1985                               | 17  |
| 3.3.1  | Beispiel zum Wert des synchronisierten Waldes                          | 78  |
| 4.3.1  | Flächenanteile verschiedener Entwicklungsstufen                        | 104 |
| 4.3.2  | Bestand, dessen Veränderung und die Durchforstungen für Fichte 14 m    | 107 |
| 4.3.3  | Bestand, dessen Veränderung und die Durchforstungen für Buche 16 m     | 108 |
| 4.3.4  | Simulierter Vorrat im synchronisierten und im effektiven Wald          | 109 |
| 4.3.5  | Anteile der Durchforstungen am Erntetotal                              | 109 |
| 4.3.6  | Inflationsraten und Renditen                                           | 110 |
| 4.4.1  | Holzmassen für Fichte 14 m und 150 Jahre                               | 115 |
| 4.4.1a | Vorratsberechnung für Fichte 14 m und 150 Jahre                        | 116 |
| 4.4.2  | Boden- und Kapitalwerte für Fichte 14 m und den Zinssatz von 2.5%      | 121 |
| 4.4.3  | Volkswirtschaftliche Gewinne bei Fichte 14 m                           | 129 |
| 4.5.1  | Optimale Umtriebszeiten                                                | 137 |
| 4.5.2  | Optimale Bodenwerte                                                    | 138 |
| 4.5.3  | Veränderung der Bodenwerte                                             | 139 |
| 4.5.4  | Optimale Holzkapitalbestände                                           | 139 |
| 4.5.5  | Veränderung der Holzkapitalbestände                                    | 140 |
| 4.5.6  | Optimale Waldwerte                                                     | 141 |
| 4.5.7  | Veränderung der Waldwerte                                              | 142 |

|        |                                                                                                         |     |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5.8  | Nettoholzerlöse                                                                                         | 143 |
| 4.5.9  | Gesamtkapitalreduktion der Holzbestände                                                                 | 144 |
| 4.5.10 | Volkswirtschaftliche Gewinne                                                                            | 145 |
| 4.5.11 | Relative Verbesserung                                                                                   | 146 |
| 4.5.12 | Volkswirtschaftlicher Gewinn im öffentlichen Wald                                                       | 148 |
| 4.5.13 | Volkswirtschaftlicher Gewinn im Privatwald                                                              | 149 |
| 4.5.14 | Volkswirtschaftlicher Gewinn im Gesamtwald                                                              | 151 |
| 4.5.15 | Volkswirtschaftlicher Gewinn im Gesamtwald beim<br>Nettoerlös von 55.33 Fr./m <sup>3</sup>              | 153 |
| 4.5.16 | Volkswirtschaftlicher Gewinn im Gesamtwald für<br>unterschiedliche Bestandesbegründungskosten           | 155 |
| 4.5.17 | Vergleich der Fichtenbonitäten                                                                          | 157 |
| 4.5.18 | Bewertungsvarianten für Fichte 14 m                                                                     | 159 |
| 4.5.19 | (Brutto-)Holzerlöse bei Berücksichtigung der<br>effektiven Altersstruktur                               | 162 |
| 4.5.20 | Investitionskosten bei Berücksichtigung der<br>effektiven Altersstruktur                                | 162 |
| 4.5.21 | Volkswirtschaftliche Gewinne bei Berücksichtigung<br>der effektiven Altersstruktur                      | 163 |
| 4.5.22 | Relative Verbesserung bei Berücksichtigung der<br>effektiven Altersstruktur                             | 164 |
| 4.5.23 | Volkswirtschaftlicher Gewinn im öffentlichen Wald<br>bei Berücksichtigung der effektiven Altersstruktur | 166 |
| 4.5.24 | Volkswirtschaftlicher Gewinn im Gesamtwald bei<br>Berücksichtigung der effektiven Altersstruktur        | 167 |
| 4.5.25 | Zusammenfassung der Ergebnisse zu Fichte 14 m                                                           | 169 |
| 4.5.26 | Zusammenfassung der Ergebnisse zu Buche 16 m                                                            | 170 |
| 4.5.27 | Volkswirtschaftliche Gewinne nach Eigentümern                                                           | 172 |
| 5.2.1  | Die Verhältnisse im optimierten, synchronisierten<br>Wald                                               | 185 |

## I. TEIL EINFUEHRUNG

### 1. Problemstellung

#### 1.1 Binleitung

Im Verlaufe des Jahres 1983 wurden auch in der Schweiz die durch die Umweltverschmutzung verursachten Waldschäden manifest. Die Diskussion um den Wald und die Forstwirtschaft erhielt damit eine neue Dimension, deren Aktualität die beinahe schon traditionellen forstökonomischen Probleme nie erreichten. Gleichwohl wäre es verfehlt, den seit langem erkannten ungünstigen Zustand der Forstwirtschaft zu vernachlässigen, zumal der "saure Regen" nicht eigentlich als ein inhärent waldbauliches sondern als ein Umweltproblem allgemeinerer Bedeutung zu betrachten ist. Dem Waldbesitzer (öffentliche Hand oder Privater) entstehen Kosten durch Verminderung des Holzzuwachses, durch absterbende Bäume und durch vermehrt vorzunehmende Pflegeeingriffe. Eine geschädigte Umwelt erschwert und verteuert die Holzproduktion, was den Wert des Waldes vermindert.

Die Schutz- und Wohlfahrtsfunktionen des Waldes mögen durch das Waldsterben punktuell stark in Mitleidenschaft gezogen werden. Man denke dabei an geschwächte Bannwälder. Im grossen und ganzen dürften die vom Walde ausgehenden externen Effekte jedoch kaum ernstlich beeinträchtigt sein (vgl. Kapitel 2 dieses ersten Teiles). Die ökonomischen Prinzipien einer effizienten Waldbewirtschaftung erfahren durch die heute festzustellende Umweltverschmutzung keine Veränderung. Nach wie vor streben die Waldbesitzer eine mindestens kostendeckende Holzerzeugung unter den gegebenen Bedingungen an.

Aus zwei Gründen steht die Funktion des Waldes als Holzproduzent im Vordergrund. Die Einnahmen des Forstbetriebes kommen durch Ernte und Verkauf des Holzes zustande und ein Grossteil der Ausgaben fallen aufgrund der Holzproduktion an, wie Erntekosten, Kosten der Bestandesbegründung und -pflege, Unterhaltskosten und dergleichen mehr. Die Ertragslage der Forstbetriebe wird durch die Holzerzeugung bestimmt. Ein zweiter Grund, weshalb bloss die Holzproduktionsseite der Waldwirtschaft analysiert wird, liegt in der Ansicht, dass die Mehrzahl externer Effekte, die mit der Existenz

des Waldes verbunden sind, eine Funktion der Fläche nicht aber des Durchschnittsalters sind. Die sogenannten Schutz- und Wohlfahrtsfunktionen weist ein Wald mit guter Altersdurchmischung unabhängig davon auf, ob eine Umtriebszeit von 160 oder 110 Jahren der Bewirtschaftung zugrunde liegt. Die Holzproduktion kann somit isoliert untersucht werden. Allfällige Aenderungen der Kapitalintensität sollten sich höchstens am Rande auf die externen Erträge auswirken, was deren expliziten Einbezug in die Analyse erübrigt.

Die Identifikation möglicher forstwirtschaftlicher Probleme und deren spätere Analyse bedient sich eines Instruments, dessen Verwendung in ökonomischen Untersuchungen allgemein anerkannt ist. Es handelt sich um den Zinssatz, der in forstwirtschaftliche Fragestellungen meist keinen Eingang findet. In der vorliegenden Arbeit wird versucht herauszufinden, welchen Problemen die schweizerische Waldwirtschaft eigentlich gegenübersteht, wenn der Zinssatz in die Untersuchung einbezogen wird. Zur Hauptsache wird mit diesem Vorgehen dem Zeitcharakter der forstlichen Produktion und potentiellen Verbesserungen der Ertragslage schweizerischer Forstbetriebe Rechnung getragen.

Die Zinsrechnung und die Beschränkung auf den Aspekt der Holzproduktion stellen die zwei Hauptmerkmale dieser Arbeit dar. Wohl wissend um die Heterogenität der Bedingungen, unter denen gesamthaft die schweizerische Holzproduktion stattfindet, wird die Analyse für gesamtschweizerische Durchschnittswerte durchgeführt. Das Ziel besteht also nicht darin, für einen konkreten Forstbetrieb das Problem und dessen unmittelbar anwendbare Lösung zu formulieren, sondern dies für die Schweiz als ganzes zu tun. Wenn die gewählte Methode für landesweite Durchschnittswerte Aussagen zulässt, so wären betriebsspezifische Untersuchungen angezeigt. Es liessen sich Massnahmen ableiten, die dem individuellen Beispiel gerecht werden.

Die Analyse gesamtschweizerischer Durchschnitte zieht Vereinfachungen auch auf waldbaulicher Seite nach sich. Die Verwendung der Bonitätsklassen, die Modellierung pflegerischer Eingriffe und dergleichen mehr erheben nicht den Anspruch, jeder schweizerischen Waldhektare und jedem schweizerischen Forstbetrieb gerecht zu werden. Auch diese Teile repräsentieren einen durchschnittlichen

Wald, der in dieser Konstellation realiter vielleicht auf einer einzelnen Hektare gar nicht existieren mag. Dazu ist wiederum zu bemerken, dass die Analyse exemplarischen Charakter haben soll und dass spätere Untersuchungen konkreter Wälder die spezifischen forstlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen haben.

Die Aufgabe dieses Kapitels liegt darin zu zeigen, dass die Kapitalintensität der Holzproduktion ihr vorteilhaftestes Ausmass bei weitem übertrifft und/oder die Bodenwerte aufgrund der Kosten- und Ertragslage negativ ausfallen. Es wird im folgenden darum gehen, die zwei Elemente, Bodenwert und Umtriebszeit, miteinander zu verbinden. Sowohl die Auswahl der diskutierten Literatur wie die Konstruktion und empirische Schätzung des Modells sind auf die identifizierten Probleme ausgerichtet, um die aufgeworfenen Fragen zu beantworten.

Im nächsten Unterabschnitt (1.2) wird in knapper Form die schweizerische Waldfläche, -struktur udgl. erläutert und quantifiziert. Anschliessend (Unterabschnitt 1.3) sollen die gesetzlichen Bestimmungen dargestellt und der Versuch unternommen werden, die Probleme der Waldbewirtschaftung zu identifizieren. Die Interpretation der Ergebnisse der Problemidentifikation beschliesst das erste Kapitel.

## 1.2 Der Schweizer Wald - eine kurze Charakterisierung

Rund ein Drittel der Gesamtfläche der Schweiz ist mit Wald bedeckt, was bereits rein quantitativ dessen Bedeutung hervorhebt. Einen Einblick in die Aufgliederung der Flächenanteile nach Regionen vermittelt Tabelle 1.1.1.

Die in Tabelle 1.1.1 aufgeführten Hektarwerte entstammen der Forststatistik des Jahres 1984 und beziehen sich auf die gesamte der Forstgesetzgebung unterstellte Waldfläche. Sämtliche Regionen der Schweiz weisen eine ausgedehnte Bewaldung auf, wobei das Mittelland relativ zur flächenmässigen Ausdehnung die am geringsten mit Wald bedeckte Region darstellt.

**Tabelle 1.1.1 Waldfläche nach Regionen in Hektaren bzw. in Prozent der Gesamtwaldfläche**

| Region          | Hektaren  | Prozent der Gesamtwaldfläche |
|-----------------|-----------|------------------------------|
| Jura            | 207'693   | 17.6                         |
| Mittelland      | 238'474   | 20.2                         |
| Voralpen        | 197'884   | 16.7                         |
| Alpen           | 366'295   | 31.0                         |
| Alpensüdseite   | 171'132   | 14.5                         |
| gesamte Schweiz | 1'181'478 | 100.0                        |

Als zweites Charakterisierungsmerkmal soll die Struktur des Waldes mit einigen Zahlen umrissen werden.<sup>1)</sup> Demnach entfallen 90% der Gesamtwaldfläche auf Hochwald (4.3% auf Gebüsch, 3.6% auf Niederwald, den Rest bilden Hecken, Parks usw.). Der Hochwald wiederum weist im Mittelland 85% einschichtig-gleichförmige Bestände auf. Mit zunehmender Höhenlage sinkt dieser Anteil (auf 39% in den Alpen) zugunsten mehrschichtig-unregelmässiger Bestände.

Auch die Zusammensetzung nach Baumart ändert mit der Höhenlage der Wälder und zeigt folglich in den einzelnen Regionen ein unterschiedliches Bild. Der relative Anteil der Laubbäume beträgt im Mittelland ungefähr ein Viertel, im Jura etwa ein Drittel und in den Alpen weniger als ein Zehntel. In Lagen unter 750 m ü.M. herrschen mit 43% die reinen Laubholzwälder vor (37% reine Nadelwälder, 30% Mischwälder), dieser Anteil geht auf 29% in Lagen zwischen 750 und 950 m ü.M. zurück (44% reine Nadelholzbestände, 17% Mischbestände) und in Höhenlagen über 1150 m herrschen die reinen Nadelwälder mit 80% der gesamten Flächenbedeckung.<sup>2)</sup>

Der Altersaufbau des Waldes lässt einen wichtigen forstwirtschaftlichen Problempunkt hervortreten. Tabelle 1.1.2 zeigt, dass die effektiven Flächenanteile der Entwicklungsstufen beträchtlich vom Ideal eines altersmässig perfekt durchmischten Waldes<sup>3)</sup> abweichen. Ältere Entwicklungsstufen sind übervertreten; mithin muss der gesamte schweizerische Wald als überaltert bezeichnet werden.

**Tabelle 1.1.2 Tatsächliche und ideale Flächenanteile der Entwicklungsstufen (Stand 1970) <sup>4)</sup>**

| Entwicklungsstufe        | Flächenanteil in % |       | Abweichung |
|--------------------------|--------------------|-------|------------|
|                          | tatsächlich        | ideal |            |
| Jungwüchse und Dickungen | 5-7                | 18-20 | -13        |
| Stangenhölzer            | 10-13              | 22-28 | -13        |
| Schwache Baumhölzer      | 30-40              | 22-28 | +10        |
| Mittlere Baumhölzer      | 24-31              | 22-28 | + 3        |
| Starke Baumhölzer        | 11-15              | 6-10  | + 5        |

Jungwüchse und Dickungen und die Stangenhölzer, die die zwei jüngsten Entwicklungsstufen bezeichnen, sind jeweils um 13 Flächenprozente untervertreten. Dagegen übersteigt der tatsächliche Anteil des schwachen Baumholzes mit zehn Flächenprozenten deutlich sein ideales Ausmass. Auch die restlichen zwei hohen Entwicklungsstufen sind übervertreten. Interessanterweise lassen sich keine Unterschiede im Altersaufbau zwischen den Regionen und zwischen den Höhenlagen feststellen. Die geringen Flächenanteile jüngerer Entwicklungsstufen zugunsten höherer Anteile älterer und somit holzreicherer Altersgruppen widerspiegeln sich in hohen stehenden Holzvorräten.

**Tabelle 1.1.3 Stehender durchschnittlicher Holzvorrat (Stand 1970) <sup>5)</sup>**

| Region          | stehender Holzvorrat in m <sup>3</sup> /ha |
|-----------------|--------------------------------------------|
| Jura            | 282                                        |
| Mittelland      | 358                                        |
| Voralpen        | 313                                        |
| Alpen           | 239                                        |
| Alpensüdseite   | 171                                        |
| gesamte Schweiz | 278                                        |

Ein Vergleich mit dem stehenden Holzvorrat im Ausland erhärtet die Feststellung der Ueberalterung des schweizerischen Waldes. Die Bundesrepublik Deutschland weist einen stehenden Holzvorrat von 150 Kubikmeter pro Hektare aus, Frankreich von 85 m<sup>3</sup> pro ha und Oesterreich von 235 m<sup>3</sup> pro ha. Die nordischen Staaten und Grossbritannien besitzen Holzvorräte von weniger als 100 m<sup>3</sup> pro ha. Die Schweiz führt demnach deutlich im westeuropäischen Vergleich.<sup>6)</sup>

Der Erschliessungsgrad der Waldfläche bildet einen weiteren Problempunkt bei der Waldbewirtschaftung, da Aufforstungen, Pflegeeingriffe und der Abtransport des geernteten Holzes auf ein hinreichendes Forststrassennetz angewiesen sind. In Tabelle 1.1.4 erscheinen die bei der Betriebszählung von 1975 ermittelten Erschliessungsgrade öffentlicher Waldungen.

Tabelle 1.1.4 Erschlossene öffentliche Waldfläche (Stand 1975)<sup>7)</sup>

| Region          | Erschliessungsgrad* |
|-----------------|---------------------|
| Jura            | 95                  |
| Mittelland      | 100                 |
| Voralpen        | 59                  |
| Alpen           | 41                  |
| Alpensüdseite   | 22                  |
| gesamte Schweiz | 62                  |

\* Prozentsatz der durch Strassen, Wege, Gassen und Seilanlagen erschlossenen Waldfläche relativ zur "Waldfläche nach Forstgesetz".

Besonders in den Alpen und der Alpensüdseite sind grössere Investitionen in die Walderschliessung notwendig, um diese Wälder nutzen zu können. Investitionen in "die Anlage von Abfuhrwegen und sonstigen Einrichtungen für den Holztransport" subventioniert der Bund gemäss dem "Bundesgesetz betreffend die eidgenössische Oberaufsicht über die Forstpolizei" (Artikel 42) mit bis zu 55 Prozent in den Voralpen und Alpen. Auch für die Restkosten (mindestens 45%

der Gesamtkosten) gewährt die Eidgenossenschaft Unterstützung in der Form von zinslosen Darlehen, sofern "das öffentliche Interesse an der Erhaltung der Schutzfunktion des Waldes es rechtfertigt" (Artikel 1 des "Bundesgesetzes über Investitionskredite für die Forstwirtschaft im Berggebiet").

### 1.3 Gesetzliche Vorschriften und Betriebsstruktur

Im Bundesgesetz betreffend die eidgenössische Oberaufsicht über die Forstpolizei" vom 11. Oktober 1902 regelt der Bund weitgehend die Belange der Waldwirtschaft. Anlass zu den gesetzlichen Bestimmungen, die auch heute noch weitgehend Gültigkeit besitzen, bot der durch Rodungen und Uebernutzungen gekennzeichnete und damals als alarmierend desolat betrachtete Zustand der Wälder. Insbesondere wurde ein Zusammenhang zwischen der im 19. Jahrhundert erfolgten Waldflächenreduktion und den gehäuft auftretenden Hochwasserkatastrophen vermutet. Der eigentliche Sinn des Bundesgesetzes besteht demnach in der Erhaltung bzw. Mehrung der Waldflächen zwecks Regulierung des Wasserhaushaltes, der Verhinderung von Bodenerosion, der Speicherung von Trinkwasserreserven, Lawinenschutz und Sinninterpretationen neueren Datums wie Schutz vor Luftverunreinigungen und Lärm, Gliederung der Landschaft und Erholungsraum für die Bevölkerung. Die "Vollziehungsverordnung zum Bundesgesetz betreffend die eidgenössische Oberaufsicht über die Forstpolizei" vom 1. Oktober 1965 definiert den Begriff des Waldes in Artikel 1 wie folgt: "Als Wald im Sinne des Gesetzes gilt, ..., jede mit Waldbäumen oder -sträuchern bestockt Fläche, die, unabhängig von der Grösse des Ertrages, Holz erzeugt oder geeignet ist, Schutz- oder Wohlfahrtswirkungen auszuüben". Gemeinsam mit dem Artikel 31 Absatz 1 des Bundesgesetzes ("Das Waldareal der Schweiz soll nicht vermindert werden.") wird eindeutig die Walderhaltung wegen der externen Effekte, die ein Wald nebst dem Holz erzeugt, angestrebt. Die wirtschaftliche Holzherzeugung an sich, die Sicherung der Holzversorgung in Krisenzeiten oder dergleichen mehr waren bei der Schaffung der erwähnten gesetzlichen Bestimmungen nicht begleitend. Im Gegenteil wurde angestrebt, mögliche aus Profitüberlegungen resultierende Waldbewirtschaftungen (Kahlschläge, Rodungen und Umwandlungen nicht profitabler Wälder in Aecker u.ä.) zu kontrollieren und einzudämmen und somit die freie Verfügungsgewalt über Waldbesitz einzuschränken.

Das Gesetz bestimmt die Waldkategorien einerseits nach Art des Eigentums (öffentliche Wälder und Privatwälder) und andererseits nach Art der Unterstellung unter die forstliche Aufsicht (Schutzwälder und Nichtschutzwälder). 70% aller Waldungen befinden sich in öffentlichem Besitz (zum überwiegenden Teil im Besitze von Gemeinden und Korporationen, nur geringer Waldbesitz von Bund und Kantonen); 30% stellen Privatwälder dar, die zu über zwei Dritteln Landwirten gehören. In das restliche Drittel teilen sich natürliche und juristische Personen ausserhalb der Landwirtschaft und Holzkorporationen sowie Genossenschaften des privaten Rechts. Starke Parzellierung und relativ geringe Betriebsgrössen charakterisieren die Betriebsstruktur sowohl der öffentlichen wie auch der privaten Waldungen, wobei erstere nicht gar so geringe Dimensionen aufweisen. Die öffentlichen Wälder bestehen aus Parzellen von 27 Hektaren durchschnittlicher Fläche (Mittelland 14 ha, Alpen 41 ha). 75% der Waldfläche wird jedoch von Betrieben bewirtschaftet, die 200 ha und mehr umfassen. Die durchschnittliche Parzellengrösse des Privatwaldes beträgt dagegen nur 0.7 ha, bei einer durchschnittlichen Betriebsgrösse von 1.9 ha. Mehr als 80% der Privatwaldfläche gelangt durch kleine Betriebe (unter 10 ha) zur Bewirtschaftung. Bezüglich rationeller Arbeitsweise, Betriebsorganisation und Maschinenverwendung herrscht in forstwirtschaftlichen Kreisen die Meinung vor, dass die günstige Betriebsgrösse bei ungefähr 2500 bis 3000 ha liege, somit die heutige Betriebsgrössenstruktur kaum einem Optimum entspricht.

Artikel 3 des Bundesgesetzes unterscheidet in Schutz- und Nichtschutzwaldungen nach folgender Definition (Absatz 2): "Schutzwaldungen sind diejenigen Waldungen, welche sich im Einzugsgebiete von Wildwassern befinden, sowie solche, welche vermöge ihrer Lage Schutz bieten gegen schädliche klimatische Einflüsse, gegen Lawinen, Stein- und Eisschläge, Erdabrutschungen, Verrufungen sowie gegen ausserordentliche Wasserstände". Die weite Fassung dieses Begriffs führte in der Folge dazu, dass bis heute 96% der gesamten Waldfläche zu Schutzwaldungen erklärt wurden und dies auf Verlangen der Kantone und Waldbesitzer, um in den Genuss von Bundesbeiträgen zu gelangen. Namentlich unterstützt der Bund die Gründung und Wiederaufforstung von Schutzwaldungen (Bundesgesetz

Art. 37, 37<sup>bis</sup> und 42) und insbesondere dürften die Beiträge an Abfuhrwege und andere Einrichtungen für den Holztransport (Bundesgesetz Art. 25) die Bildung von Schutzwaldungen gefördert haben. Ausser im Falle von Privatwaldzusammenlegungen, die mit Wegbauten verbunden sein können, erhalten Nichtschutzwaldungen keine Bundesbeiträge. Zusätzliche Bewirtschaftungsvorschriften sind durch die Unterstellung des Waldes unter die Schutzwaldbestimmungen in ihrer Wirkung kaum hinderlich. Kahlschläge, um dies als Beispiel anzuführen, bedürfen im Privatwald kantonaler Zustimmung unabhängig davon, ob sie im Schutz- oder Nichtschutzwald durchgeführt werden sollen. Gleiches gilt für die öffentlichen Wälder. Zudem besteht für öffentliche Waldbesitzer die Pflicht der forstamtlichen Schlaganzeichnung sowohl im Schutz- wie Nichtschutzwald. Angesichts der Tatsache, dass 96% der Waldfläche von Schutzwaldungen bedeckt sind, wird auf die weitere Erläuterungen von allfälligen Änderungen der Bewirtschaftungsvorschriften beim Wechsel von Nichtschutzwald zu Schutzwald verzichtet.

Die gesetzlichen Bestimmungen haben mehrere die Bewirtschaftung betreffende Auswirkungen, deren wichtigste nachfolgend stichwortartig aufgeführt sind:

- Schlaganzeichnung: - in öffentlichen Waldungen forstamtlich durchzuführen
  - in Privatwaldungen kann der Kanton die Schlaganzeichnung vorschreiben
- Abgabesatz: - darf nicht überschritten werden (in öffentlichen Wäldern)
- Öffentliche Wälder dürfen nicht an Private verkauft werden
- Pflicht der nachhaltigen Bewirtschaftung öffentlicher Waldungen
- Kahlschläge sind zulässig zur Durchführung von Verjüngungsmassnahmen
- Rodungen nur auf eng begrenzten Flächen (nach Bewilligung) unter Leistung von Realersatz
- beschränkte Nebennutzungsmöglichkeiten (z.B. Beweidung)
- Wiederbestockung von Blössen innert dreier Jahre.

Die gesetzlichen Vorschriften beugen dem Verlust des Waldareales und der Uebernutzung der Wälder vor. Im wesentlichen behindern sie die freie Verwendung des Waldbodens. Die Waldbewirtschaftung als

solche wird durch die rechtlichen Normen nur geringfügig berührt. Eine ertragsmaximale Waldbewirtschaftung dürfte dadurch nicht verunmöglicht sein.

#### 1.4 Wertverhältnisse

Nach der kurzen Charakterisierung von Zustand und Struktur des Schweizer Waldes, der Darlegung der wichtigsten rechtlichen Normen und einigen Hinweisen zur Betriebsstruktur wird in diesem Abschnitt der Versuch unternommen, ein grundlegendes ökonomisches Problem der Forstwirtschaft zu erkennen.

Die Ertragslage der öffentlichen Forstbetriebe der Schweiz für die Jahre 1975 bis 1984 wurde in Tabelle 1.1.5 erfasst. Die Zahlen beziehen sich auf produktive Waldflächen von 681'000 ha (1975) bis 725'000 ha (1984). Die Flächenzunahme erklärt sich aus der laufenden Erweiterung der Datenerfassung. Total- und Hektarerträge stellen rein nominelle Grössen dar, wurden also noch nicht auf das Preisniveau des Jahres 1985 gehoben. Weiter gilt es zu beachten, dass die Betriebsergebnisse über das ganze Land kumuliert wurden, mithin keine regionale Differenzierung aufweisen. Der Holzproduktionsbetrieb weist Einnahmen aus dem Holzverkauf und Ausgaben für Kulturen und Jungwuchs, Rüsten und Transport (Holzernte) und Unterhalt (Strassen, Verbauungen etc.) auf. Aufwendungen für die Betriebsleitung (Aufsicht und Verwaltung, Soziallasten) werden vom Ergebnis des Holzproduktionsbetriebes abgezogen, um die durch die Holzproduktion entstandenen Gewinne und Verluste zu erhalten. "Andere Betriebsausgaben und -einnahmen" (wie Nebennutzungen, Nebenbetriebe, gemeinwirtschaftliche Leistungen) ergeben zusammen mit dem Holzproduktionsbetrieb abzüglich den Betriebsleitungskosten den Erfolg des Gesamtbetriebes.<sup>8)</sup>

Mit Ausnahme des Jahres 1983 erzielten die Holzproduktionsbetriebe Gewinne. Dem höchsten Gewinn von 142.43 Fr./ha im Jahre 1981 folgte bereits zwei Jahre später ein Verlust von 10.66 Fr./ha. In allen zehn aufgeführten Jahren wiesen die Gesamtbetriebe Gewinne zwischen 170.07 Fr./ha (1981) und 20.38 Fr./ha (1983) aus. Auch die Forstwirtschaft stellt demnach einen Erwerbszweig dar, der Gewinne erwirtschaftet.

**Tabelle 1.1.5 Betriebsergebnisse der öffentlichen Forstbetriebe**

| Jahr | Holzproduktionsbetrieb<br>abzüglich<br>Betriebsleitung |         | Gesamtbetrieb         |         |
|------|--------------------------------------------------------|---------|-----------------------|---------|
|      | Total<br>(in Mio.Fr.)                                  | Fr./ha. | Total<br>(in Mio.Fr.) | Fr./ha. |
| 1975 | 27.54                                                  | 40.46   | 43.61                 | 64.06   |
| 1976 | 12.22                                                  | 17.89   | 28.80                 | 42.15   |
| 1977 | 64.49                                                  | 94.29   | 81.71                 | 119.46  |
| 1978 | 54.43                                                  | 79.29   | 73.56                 | 107.16  |
| 1979 | 38.14                                                  | 55.32   | 56.31                 | 81.69   |
| 1980 | 94.48                                                  | 136.50  | 112.56                | 162.62  |
| 1981 | 98.69                                                  | 142.43  | 117.85                | 170.07  |
| 1982 | 37.51                                                  | 52.85   | 57.69                 | 81.29   |
| 1983 | -7.72                                                  | -10.66  | 14.76                 | 20.38   |
| 1984 | 7.93                                                   | 10.92   | 33.72                 | 46.49   |

**Tabelle 1.1.6 Erlöse und Kosten in Preisen des Jahres 1985**

| Jahr | Nutzung<br>m <sup>3</sup> /ha | Ernteerlös<br>Fr./m <sup>3</sup> | Kulturen +<br>Jungwuchs<br>Fr./ha | Unterhalt +<br>Betriebsleitung<br>Fr./ha |
|------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|
| 1975 | 4.03                          | 72.36                            | 53.21                             | 182.61                                   |
| 1976 | 3.74                          | 67.96                            | 50.50                             | 179.56                                   |
| 1977 | 4.39                          | 80.99                            | 50.61                             | 177.34                                   |
| 1978 | 4.30                          | 78.50                            | 50.70                             | 180.90                                   |
| 1979 | 4.07                          | 71.94                            | 47.81                             | 174.75                                   |
| 1980 | 4.55                          | 83.54                            | 46.38                             | 166.97                                   |
| 1981 | 4.53                          | 85.62                            | 46.05                             | 172.17                                   |
| 1982 | 4.18                          | 65.90                            | 47.75                             | 170.08                                   |
| 1983 | 4.12                          | 48.29                            | 48.46                             | 161.76                                   |
| 1984 | 4.90                          | 44.63                            | 46.47                             | 160.80                                   |
| Ø    | 4.27                          | 69.97                            | 48.79                             | 172.69                                   |

Die Tabelle 1.1.6 enthält die Nutzungsmengen, die erntekostenfreien Erlöse je Kubikmeter Holzernte, die Aufwendungen für Kulturen und Jungwuchs in Fr./ha und die Kosten für Unterhalt und Betriebsleitung in Fr./ha. Alle Frankenbeträge wurden auf das Preisniveau Ende des Jahres 1985 gehoben und können dadurch direkt miteinander verglichen werden.

Der erntekostenfreie Erlös erreichte im Jahre 1981 ein Maximum von 85.62 Fr./m<sup>3</sup>. Der geringste Erlös je Kubikmeter wurde im Jahre 1984 mit 44.63 Fr. erzielt. Die Ausgaben für Kulturen und Jungwuchs sanken von 53.21 Fr./ha auf 46.47 Fr./ha. Auch die Aufwendungen für Unterhalt und Betriebsleitung gingen während den Jahren 1975 bis 1984 zurück und zwar von 182.61 auf 160.80 Fr./ha.

Aus den Daten der Tabellen 1.1.5 und 1.1.6 und der Hinzuziehung der in Tabelle 1.1.3 aufgeführten Holzvorratsmengen lassen sich Beziehungen berechnen, die eine genauere Problembestimmung ermöglichen. Tabelle 1.1.7 enthält den Abtriebswert des Holzbestandes und die Waldwerte für den Holzproduktionsbetrieb (abzüglich Betriebsleitung) und den Gesamtbetrieb.

**Tabelle 1.1.7 Wert des Holzvorrates und Waldwerte**  
(in Fr./ha des Jahres 1985)

|                         | Holzproduktionsbetrieb<br>abzüglich Betriebs-<br>leitung | Gesamtbetrieb |
|-------------------------|----------------------------------------------------------|---------------|
| Betriebsergebnis (p.a.) | 77.29                                                    | 110.76        |
| Wert des Holzvorrates   | 19'452                                                   | 19'452        |
| 1%                      | 7'729                                                    | 11'076        |
| Waldwert bei 2%         | 3'865                                                    | 5'538         |
| Zinssätzen von: 3%      | 2'576                                                    | 3'692         |
| 4%                      | 1'932                                                    | 2'769         |
| 5%                      | 1'546                                                    | 2'215         |

Durch die Multiplikation des Durchschnitts des erntekostenfreien Erlöses (69.97 Fr./m<sup>3</sup>) mit dem Holzvorrat von 278 m<sup>3</sup>/ha (vgl. Tabelle 1.1.3) kann der Wert des stehenden Holzes berechnet wer-

den. Im schweizerischen Mittel beträgt der Abtriebswert des Holzvorrates 19'452 Fr./ha.

Zur Berechnung des Waldwertes gelangte die Ueberlegung zur Anwendung, das Betriebsergebnis (Nutzung x Ernteerlös - Kulturen und Jungwuchs - Unterhalt und Betriebsleitung = Ergebnis des Holzproduktionsbetriebes; zuzüglich des Saldos der anderen Betriebseinnahmen und -ausgaben = Ergebnis des Gesamtbetriebes) lasse sich alle Jahre erzielen. Insofern eine gewagte Annahme, wenn Tabelle 1.1.2, die keinen für nachhaltige Bewirtschaftung idealen Altersaufbau zeigt, zu Rate gezogen wird. In die Formel für ewige Renten können nun Realzinssätze eingesetzt werden, um zum Wert des Waldes zu gelangen. Tabelle 1.1.7 weist Waldwerte für alternative Realzinssätze aus. Der Waldbewirtschaftung haftet ein beträchtliches Risiko an, können doch Schädlinge, Schneedruck, Feuer und anderen Kalamitäten zu hohen Baumverlusten führen. Die Opportunitätskosten des in der Forstwirtschaft investierten Kapitals (in Form noch nicht zu Markte getragenen Holzes) liegen vermutlich mindestens bei real zwei oder drei Prozent pro Jahr.

Selbst beim Zinssatz von einem Prozent übersteigt der Abtriebswert des Holzvorrates die Waldwerte deutlich. Wird nur die reine Holzproduktion zur Waldwertbemessung hinzugezogen, so überragt der Wert des Holzvorrates jenen um mehr als das Doppelte. Werden sämtliche betrieblichen Einnahmen und Ausgaben bei der Waldwertbestimmung berücksichtigt, so erreichen diese doch nur höchstens 60% (Zinssatz von 1%) des Vorratswertes.

## 1.5 Problemidentifikation

Das im vorhergehenden Abschnitt festgestellte Wertverhältnis weist auf mögliche Problembereiche hin. Der Wert des Waldes besteht aus dem Wert des Bodens und dem Kapitalwert des Bestandes. Letzterer ist nicht dem Abtriebswert des Holzvorrates gleichzusetzen. Bei effizienter Waldbewirtschaftung wird der Kapitalwert den Abtriebswert immer übersteigen. Dies bedeutet, dass sich das gesamte vom Bestand repräsentierte Kapital in der richtigen Verwendung befindet. Im andern Falle wäre nur über den Abtrieb von Teilen des Bestandes eine effiziente Kapitalallokation zu erreichen.

Man stelle sich vor, das Kapital des Holzbestandes sei gegenwärtig in seiner optimalen Verwendung. Der Kapitalwert übersteigt also die 19'500 Fr./ha des Holzvorratswertes. In diesem Falle müssten die Bodenwerte stark negativ ausfallen (geringer als minus 10'000 Fr./ha), um zu den berechneten Waldwerten zu gelangen. Diese negativen Bodenwerte bedeuten, dass die Gesamtheit aller künftigen wirtschaftlichen Ereignisse verlustreich sein werden. Rationale Waldbewirtschafter liquidierten ihre Wälder möglichst rasch, wenn man ihnen frei Hand liesse. Die Forstgesetzgebung verhindert derartige Eingriffe (vgl. Abschnitt 1.3).

Eine zweite Erklärung der im vorhergehenden Abschnitt festgestellten Werterelation geht von einer Ueberkapitalisierung des Schweizer Waldes aus. Die Wahl zu langer Umtriebszeiten erhöht den Holzvorratswert stärker als den Kapitalwert des Bestandes. Dieser kann sich bei sehr hohen Produktionsperiodenlängen gar zurückbilden. Wenn als Beispiel ein Bodenwert von Null angenommen wird, so wären in diesem Falle die Bestandeskapitalwerte den Waldwerten gleich. Die Lücke zum Holzvorratswert liesse sich nur über die Verringerung des Holzvorrates schliessen. Die Konsequenz wäre eine kaum rentable Forstwirtschaft (Bodenwert von Null), die mittels ausgeprägt kürzeren Umtriebszeiten die tieferen Bestandeskapitalien effizient einsetzt.

Eine dritte Erklärungsvariante lässt sich durch die Kombination der ersten zwei ermitteln. Demnach könnten gleichzeitig negative Bodenwerte und zu lange Umtriebszeiten die Holzvorratswert-Waldwert-Relation begründen. Ueberkapitalisierte Bestände stocken auf Boden negativen Wertes. Wie der vierte Teil dieser Arbeit zeigen wird, scheint tatsächlich das Vorliegen beider Phänomene die heutige Situation erklären zu können.

## 2. Zum Waldsterben in der Schweiz

### 2.1 Ursachen und Ausmass der Waldschäden

Es bestanden nie ernsthafte Zweifel, dass die seit dem Jahre 1983 auch in der Schweiz aufgetretenen Waldschäden auf die Verschmutzung der Luft zurückzuführen sind. Wurde zu Beginn nur der "saure Regen" als Verursacher bezeichnet, so liess seither die Analyse der Wirkungsweise ein differenzierteres Bild entstehen.<sup>9)</sup> Schwefeldioxid, das hauptsächlich von Haushalts- und Industriefeuerungen emittiert wird, wandelt sich innert Tagen in der Atmosphäre zu Schwefelsäure und Sulfaten um. Weitgehend von Motorfahrzeugen stammen die Stickoxide. Auch diese Gase verändern sich in der Atmosphäre zu Salpetersäure. Gemeinsam mit der Schwefelsäure entstehen so die sauren Niederschläge. Eine dritte Schadstoffgruppe bilden die Kohlenwasserstoffe, die zusammen mit Stickoxiden und unter Lichteinwirkung Photooxidantien (z.B. Ozon) erzeugen. Nebst den sauren Niederschlägen wirken sich auch die Photooxidantien schädlich aus. Letztere beeinträchtigen primär das Laub und die Nadeln der Bäume.

Die Sanasilva-Waldschadeninventur, die jährlich über den Zustand des Schweizer Waldes Bericht erstattet, versucht in über 2000 Probeflächen die Entwicklung der Waldschäden und den Gesundheitszustand zu erfassen.<sup>10)</sup> Der Nadel- und Blattverlust der Einzelbäume erlaubt eine Schadstufeneinteilung entsprechend Tabelle 1.2.1 vorzunehmen.

Die ausgedehnten Erläuterungen zu den Schadstufen der folgenden Tabelle machen deutlich, dass kränkelnde bzw. schwach geschädigte Bäume (Schadstufe 1) nicht vorzeitig abgetrieben werden müssen, sondern eine normale Umtriebszeit erreichen können. Von der Schadstufe 2 an (krank bzw. mittelstark geschädigt) wird die Umtriebszeit kaum mehr erreicht; diese Bäume sind somit vor Ablauf der Umtriebszeit zu beseitigen.

**Tabelle 1.2.1 Schadstufenbildung aus der Nadel- und Blattverlust-schätzung<sup>11)</sup>**

| Nadel-Blattverlust<br>(in %) | Schadstufe | Bezeichnung                             |
|------------------------------|------------|-----------------------------------------|
| 0 - 10                       | 0          | ohne Schaden, "gesund" <sup>(I)</sup>   |
| 15 - 25                      | 1          | schwach geschädigt <sup>(II)</sup>      |
| 30 - 60                      | 2          | mittelstark geschädigt <sup>(III)</sup> |
| 65 und mehr                  | 3          | stark geschädigt <sup>(IV)</sup>        |
|                              | 4          | abgestorben <sup>(V)</sup>              |

Erläuterung: nach Bucher et al. (1984) bedeuten im Sinne einer Annäherung:

- (I) gesund: Ueppig dichte bis normal gute Benadelung/Belaubung ohne Nadel-/Laubverfärbungen.
- (II) kränkelnd: Der abgestorbene Kronenteil bzw. der Verlust an Nadel-/Laubmasse ist kleiner als die Hälfte des Kronenvolumens. Leichte Verfärbungen der Nadeln/Blätter sind möglich. Ein solcher Baum könnte die normale Umtriebszeit erreichen: er ist jedoch eindeutig kein positiver Auslesebaum.
- (III) krank: Die Benadelung/Belaubung ist deutlich schütter. Der abgestorbene Kronenteil bzw. der Verlust an Nadel-/Laubmasse liegt zwischen der Hälfte und drei Viertel des Kronenvolumens. Ein solcher Baum dürfte die normale Umtriebszeit nicht erreichen.
- (IV) absterbend: Die Benadelung/Belaubung ist sehr schütter. Der abgestorbene Kronenteil bzw. der Verlust an Nadel-/Laubmasse ist grösser als drei Viertel des Kronenvolumens. Ein solcher Baum ist abgehend und wird nicht mehr lange leben.
- (V) dürr: Der Baum ist tot. Die Benadelung/Belaubung fehlt oder ist ganz rot.

In Tabelle 1.2.2 findet sich eine Zusammenstellung der Schadenstufenanteile im öffentlichen Wald. Die Schadstufen 1 bis 4 wurden zur Kategorie "geschädigt" zusammengefasst.

**Tabelle 1.2.2 Anteil gesunder und geschädigter Bäume im öffentlichen Wald<sup>12)</sup> (in %)**

|                | 1984   |        | 1985   |        | Differenz |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
|                | gesund | gesch. | gesund | gesch. | gesund    | gesch. |
| alle Baumarten | 66     | 34     | 66     | 34     | 0         | 0      |
| Nadelhölzer    | 63     | 37     | 63     | 37     | 0         | 0      |
| Laubhölzer     | 75     | 25     | 73     | 27     | -2        | +2     |

Etwa zwei Drittel der Waldbäume können in die Kategorie "gesund" eingestuft werden. Der Zustand der Laubbäume ist besser als derjenige der Nadelhölzer. Waren zwischen den Jahren 1983 und 1984 noch starke Zunahmen der Waldschäden zu verzeichnen, so hat sich seither die Lage stabilisiert. Lediglich der Anteil gesunder Laubhölzer hat sich von 75 auf 73 Prozent verringert.

Ein tiefere Schadstufengliederung enthält Tabelle 1.2.3, die die Anteile des gesamten Waldes für das Jahr 1985 wiedergibt.

**Tabelle 1.2.3 Schadstufenanteile im gesamten Wald 1985<sup>13)</sup> (in %)**

|                | ohne Schaden | schwach geschädigt | mittelstark geschädigt | stark geschädigt oder abgestorben |
|----------------|--------------|--------------------|------------------------|-----------------------------------|
| alle Baumarten | 64           | 28                 | 6                      | 2                                 |
| Nadelhölzer    | 61           | 30                 | 7                      | 2                                 |
| Laubhölzer     | 71           | 24                 | 4                      | 1                                 |

Ein Grossteil, der in Tabelle 1.2.2 als geschädigt bezeichneten Anteile, erweisen sich in obiger Tabelle als lediglich schwach geschädigt. Vom gesamten Baumbestand scheinen also weniger als zehn Prozent (9% Nadel- bzw. 5% Laubhölzer) derart stark in Mitleidenchaft gezogen worden zu sein, dass nicht die übliche Umtriebszeit angewendet werden kann. Ein vorzeitiger Abtrieb könnte also für fünf bis neun Prozent des schweizerischen Baumbestandes vonnöten sein.

## 2.2 Auswirkungen auf die Problemstellung

Zur Zeit kann nicht abgeschätzt werden, wie sich langfristig der Waldzustand entwickeln wird. Die Luftreinhaltemassnahmen, die bedingt durch das Waldsterben ausgelöst oder gefördert werden, könnten geeignet sein, den langfristigen Gesundheitszustand des Waldes wieder zu heben. In der vorliegenden Arbeit wird davon ausgegangen, dass auf absehbare Zeit (20 bis 30 Jahre) wieder ein Gesundheitszustand erreicht sein wird, wie er für dieses Jahrhundert (vor 1983) kennzeichnend war. Im wesentlichen wird angenommen, die künftige Holzproduktionskapazität des Waldes entspreche derjenigen der Vergangenheit.

Ein wesentliches Resultat dieser Arbeit besteht in der Quantifizierung der vorteilhaftesten Umtriebszeit. Es wird sich zeigen, dass die Kapitalintensität der Holzproduktion zu verringern, somit die Umtriebszeit zu verkürzen ist. Kaufmann et al. (1984) und Schmid-Haas (1985) erwähnen einen Zusammenhang zwischen der Grösse der Schäden und dem Alter der Bestände. Die Entwicklungsstufe "jung" (bis Stangenholz) weist deutlich geringere Schädigungen auf als die Entwicklungsstufe "alt" (ab Baumholz).<sup>14)</sup> Diese positive Alters-Schaden-Korrelation lässt sich für Nadel- wie Laubholz beobachten. Zur Alters-Schaden-Entwicklung meint Schmid-Haas (1985): "Allgemein ist zu beachten, dass die grössten Unterschiede in den ersten 7 Jahrzehnten auftreten. Ueberalterte Fichten- und Tannenbestände weisen zwar einen etwas grösseren Schaden auf als 80- bis 100jährige, dieser Unterschied ist aber eher gering."

Die Verkürzung der Umtriebszeit und der damit einhergehende Vorratsabbau haben eine Verbesserung des Gesundheitszustandes zur Folge. Selbstredend werden damit Symptome und nicht die Ursachen bekämpft, deren Beseitigung Massnahmen ausserhalb der Forstwirtschaft erfordern.

Aus den Erörterungen dieses zweiten Kapitels können einige Schlussfolgerungen gezogen werden. Die Stabilisierung des Gesundheitszustandes des Schweizer Waldes und die eingeleiteten Luftreinhaltemassnahmen könnten sich längerfristig in einer Rückbildung der Waldschäden auswirken. Nicht zuletzt aufgrund des gegenwärtig noch recht geringen Kenntnisstandes bezüglich der langfristigen Entwicklung ist eine Modifikation der Problemstellung

nicht angezeigt. Die Lösungen der in der Problemstellung (1. Kapitel) aufgeworfenen Fragen könnten zur Entschärfung des Waldschadenproblems beitragen.

### 3. Aufbau der Arbeit

In der Problemstellung (I. Teil; 1. Kapitel) konnte gezeigt werden, dass die eigentümliche Vorratswert-Waldwert-Relation schweizerischer Wälder zu zwei sich nicht gegenseitig ausschliessenden Hypothesen führt. Da der Abtriebswert des Holzvorrates den Waldwert übersteigt, können zu lange Umtriebszeiten vermutet werden. Die Schweizer Wälder wären demnach überkapitalisiert. Weiter wäre es denkbar, dass die Holzproduktion wohl mit einer effizienten Kapitalintensität erfolgt, jedoch negative Bodenwerte die beobachteten Wertverhältnisse erklären. Es wird also darum gehen, die optimale Kapitalintensität (bzw. optimale Umtriebszeit) der Holzproduktion und die Bodenwerte sowohl theoretisch wie empirisch zu bestimmen.

Im zweiten Teil dieser Arbeit soll ein Ueberblick über diejenige ökonomische Literatur gegeben werden, die sich mit Umtriebszeit- und Bodenwertberechnungen befasst.

Die Konstruktion des theoretischen Modelles erfolgt im dritten Teil. Mit einer allgemeinen Formulierung der Holzproduktionsfunktion beginnend wird nach der Festlegung der Produktionstechnik der Waldwert, der Bodenwert und der Kapitalwert des Bestandes hergeleitet. Die Optimierung der Kapitalintensität der Holzproduktion erlaubt die Quantifizierung der dadurch ermöglichten volkswirtschaftlichen Verbesserungen. Ausschlaggebend für die Art der Modellkonstruktion war die empirische Anwendbarkeit der theoretischen Erkenntnisse.

Der empirischen Analyse (IV. Teil) liegt deshalb ein Simulationsmodell zugrunde, dessen Bestandteile unmittelbar aus dem theoretischen Teil abgeleitet werden können. In einem ersten Schritt sind die Wachstumsfunktionen von Nadel- und Laubbäumen ausfindig zu machen, die eine möglichst präzise Abbildung der tatsächlichen Daten der schweizerischen Wälder erlauben. In Verbindung mit Kosten- und Erlösziffern öffentlicher Forstbetriebe lassen sich empirische Wald-, Boden- und Holzkapitalwerte sowohl ermitteln (Ist-Zustand) wie optimieren (Soll-Zustand). Der durch die Anpassung des jetzigen an einen künftigen, optimalen Zustand ausgelöste Gewinn der Volkswirtschaft kann ebenfalls betragsmässig erfasst werden.

Den Abschluss bildet ein fünfter Teil, der im wesentlichen aus einer untechnischen Zusammenfassung der Arbeit besteht, die gefundenen Ergebnisse diskutiert und Ueberlegungen zur Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen enthält.

### Fussnoten zu Teil I

- 1) Die Zahlenwerte entstammen Ott (1972). Eine ähnliche Zusammenfassung findet sich in der Gesamtkonzeption (1975), die sich auf Ott (1972) bezieht.
- 2) Auch diese Angaben finden sich in Ott (1972) und der Gesamtkonzeption (1975).
- 3) Altersmässig ist ein Wald dann perfekt durchmisch, wenn die jährliche Ernte des Zuwachses keine Veränderung der Altersstruktur auslöst. Es bieten sich mehrere Möglichkeiten an, diesen Altersaufbau zu bezeichnen. Man mag wie in Tabelle 1.1.2 von einem idealen oder wie im weiteren Verlauf der Arbeit von einem synchronisierten Altersaufbau sprechen.
- 4) Die Werte entstammen der Gesamtkonzeption (1975). In etwas anderer Form erscheinen sie in Tabelle 4.3.1 wieder.
- 5) vgl. Ott (1972) sowie Abschnitt 3.1.4 des vierten Teiles.
- 6) vgl. Tabelle 12 S.58 der Gesamtkonzeption (1975).
- 7) vgl. Eidgenössische Betriebszählung 1975, Öffentliche und private Forstbetriebe.
- 8) Alle Angaben können den Forststatistiken der Jahre 1975 bis 1984 entnommen werden.
- 9) vgl. Schmid-Haas (1985) und Böhlen (1984).
- 10) vgl. Sanasilva-Waldschadeninventur 1985.
- 11) Tabelle 1.2.1 entspricht Abbildung 4 der "Ergebnisse der Sanasilva-Waldschadeninventur 1985".
- 12) dito Abb. 5.
- 13) dito Abb. 13.
- 14) vgl. Kaufmann et al. (1984) Tabelle 1 S.820.

## II. TEIL EINE KURZE LITERATURUEBERSICHT

### 1. Einleitung

Der Versuch, einen Ueberblick über den Stand der Forstökonomie zu präsentieren, erweist sich als sehr ernüchterndes Unterfangen. Aus der grossen Menge forstökonomischer Literatur lassen sich nur wenige Beiträge im Rahmen unserer Problemstellung verwenden. Hinzu tritt die von Samuelson (1976) formulierte Beobachtung (S.469):

Although I am not a specialist in the field of forest economics, I have been reading a couple of dozen different analyses ranging over the last two centuries that grapple with the optimal steady-state rotation periods. The economic analysis in most of them is wrong. In some it is very wrong. In others it is not quite right. In at least one case, the remarkable 1849 German article by Martin Faustmann, the analysis does come close to an essentially correct solution.<sup>1)</sup>

Die Hauptlinie, die in diesem Ueberblick verfolgt wird, liess sich direkt aus der Problemstellung ableiten. Dort wurde festgestellt, dass entweder zu hohe Umtriebszeiten der Waldbewirtschaftung zugrunde liegen oder die Ertrags- und Kostenlage schweizerischer Forstbetriebe die Entstehung negativer Bodenwerte verursacht. Als dritte Möglichkeit könnte eine Kombination beider Phänomene vorliegen. Die Lösung dieses Problems bedarf nun zweierlei Analyse. Einerseits sollte man wissen, wie die Bodenwerte herzuleiten sind, und andererseits bedarf es Kriterien, um die wirtschaftlichste Umtriebszeit bestimmen zu können. In dieser Literaturübersicht wird die enge Beziehung beider Problembereiche herausgearbeitet werden.

Es wurde ein ungefähr chronologisches Vorgehen gewählt. Im 19. Jahrhundert wurde der Grundstein für die Untersuchung des einfachen aber für unsere Zwecke hinreichenden point-input - point-output - Modells gelegt, wobei man schon damals erkannte, dass neben dem point-input (Anpflanzung) und dem point-output (Ernte) wiederholte Bodeninputs ins Kalkül einzubeziehen sind. Kapitel 2 beginnt mit dem Artikel von M. Faustmann (1849). Anschliessend folgen einige Ueberlegungen, die von Samuelson (1976), Comolli (1981), Hyde (1980) u.a. stammen beziehungsweise von diesen inspi-

riert wurden. Von Thünens forstökonomische Untersuchungen und einige Hinweise zum Reinertragsstreit schliessen diesen Abschnitt ab.

Das folgende dritte Kapitel befasst sich mit den Beiträgen des 20. Jahrhunderts, die teils bereits im vorhergehenden Kapitel berücksichtigt wurden. Das Schwergewicht liegt nicht auf der Frage der optimalen Umtriebszeit und den Verirrungen, zu denen dieses Problem Anlass bot. Vielmehr geht es um die Feststellung, dass die Lösung der Umtriebszeitfrage nicht von der Art der Behandlung der Zeitvariable abhängt. Auch in einem dynamischen, kontrolltheoretischen Kontext tendiert die optimale Umtriebszeit auf einen langfristigen Gleichgewichtswert, wie er im zweiten Kapitel ermittelt wird.

## 2. Forstökonomische Beiträge des 19. Jahrhunderts

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts legten J.H. von Thünen und M. Faustmann das Fundament in der Forstökonomie, worauf wir auch nach mehr als hundert Jahren noch bauen können. Der Beitrag von Thünens wurde weder zu seinen Lebzeiten noch seit der Zeit seines Todes je beachtet; obgleich er für das Problem der optimalen Umtriebszeit eine annähernd korrekte Lösung fand. M. Faustmann hingegen beeinflusste mit seinem 1849 erschienenen Artikel die forstökonomische Diskussion in Deutschland während des 19. Jahrhunderts, geriet dann in Vergessenheit und wurde erst vor dreissig Jahren "wiederentdeckt".

### 2.1 Die Leistung M. Faustmanns

M. Faustmann (1849) zeigt, wie sich der Wert des Waldbodens und der Wert des stehenden Holzes berechnen lassen, wenn die Inputkosten, die Verkaufserlöse und der Zinssatz als bekannt und gegeben vorausgesetzt werden. Faustmann berücksichtigte auch Durchforstungserträge und Aufsichts- und Verwaltungskosten, von denen aber in den folgenden Ausführungen abstrahiert wird, da sie ohne Erkenntnisgewinn die Darstellung komplizieren.

Boden hat nur in dem Masse Wert, wie er geeignet ist, Einkommen in Form von Rente zu erzeugen. Die Anpflanzung einer Hektare Waldboden erfordert einen Aufwand der Höhe  $k$  (Fr./ha). Nach  $T$  Jahren ernten wir diese Hektare, die den Ertrag  $E (=pf(T))$  abwirft (wiederum Fr./ha).  $pf(T)$  bezeichnet den erntekostenfreien Erlös, wenn Bäume des Alters  $T$  gefällt und verkauft werden. Unmittelbar nach dem Abtrieb des Waldes wird frisch angepflanzt, um wieder nach  $T$  Jahren ernten zu können und den Ertrag  $E$  zu realisieren. Wir setzen diesen Anpflanzungs-Ernte-Zyklus beliebig fort, unterstellen für alle Zeiten konstante Aufwände ( $k$ ), Nettoerlöse ( $pf(T)$ ) und den Zinssatz  $i$  und berechnen mittels Zinsrechnung den Bodenwert ( $B$ ):<sup>2)</sup>

$$B = pf(T)e^{-iT-k} + (pf(T)e^{-iT-k})e^{-iT} + (pf(T)e^{-iT-k})e^{-2iT} + \dots$$

(2.2.1)

$$B = \frac{pf(T)e^{-iT-k}}{1-e^{-iT}} .$$

Gleichung (2.2.1) trägt üblicherweise die Bezeichnung "Faustmann-Formel". Anstelle der diskreten Verzinsung tritt die stetige Variante ( $e^{-iT}$ ).

Die jährliche Bodenrente ( $r$ ) entspricht der Verzinsung des in Gleichung (2.2.1) ermittelten Bodenwertes. Das heisst, Waldboden des Wertes  $B$  erzeugt einen jährlichen Einkommensenstrom der Höhe  $r$ :

$$(2.2.2) \quad r = i \cdot B .$$

Folglich muss eine ewige Rente des Betrages  $r$  dem Bodenwert gleich sein:

$$(2.2.3) \quad r \cdot \int_0^{\infty} e^{-it} dt = r \cdot \frac{1}{i} = B .$$

Leider unterliess es Faustmann, die bodenwertmaximale Umtriebszeit zu berechnen; er erkannte jedoch, dass der ökonomische Wert des stehenden Holzes grösser als der Marktwert durch Ernte und Verkauf sein muss. Andernfalls, so argumentiert er, wäre eine kürzere Umtriebszeit vorteilhaft.

## 2.2 Maximierung des Bodenwertes

Mit ändernden  $T$ 's verändert sich der Bodenwert, der, wie Gleichung (2.2.1) zeigt, als Funktion des Nettoerlöses, der Begründungskosten, des Zinssatzes und der Umtriebszeit ( $T$ ) dargestellt wurde. Eine differenzierbare Beziehung zwischen  $B$  und  $T$  vorausgesetzt kann eine Umtriebszeit gefunden werden, die einen höchsten Bodenwert zur Folge hat. Der mathematische Ausdruck für den maximalen Bodenwert resultiert, wenn  $B$  nach  $T$  differenziert und gleich Null

gesetzt wird:

$$(2.2.4) \quad \frac{dB}{dT} = 0 = \frac{pf'(T)}{pf(T)-k} - \frac{i}{1-e^{-iT}} .$$

Die notwendige Bedingung des Bodenwertmaximums stellt sich als

$$(2.2.4a) \quad \frac{pf'(T)}{pf(T)-k} = \frac{i}{1-e^{-iT}} \quad (>i)$$

dar. Die Gleichung (2.2.5) hat die hinreichende Bedingung des Bodenwertmaximums zum Inhalt:

$$(2.2.5) \quad \frac{pf''(T)}{pf'(T)} < i .$$

Im Optimum wird die relative Veränderung des Zuwachses kleiner als der Zinssatz.

Die Maximierung des Bodenwertes optimiert gleichzeitig sowohl die jährliche Bodenrente als auch den Wert eines Bestandes des Alters  $t$  ( $S(t)$ ) mit  $t < T$ :

$$(2.2.6) \quad S(t) = ke^{it} + r \int_0^t e^{it^*} dt^*$$

$$S(t) = ke^{it} + r \frac{e^{it} - 1}{i} .$$

Die aufdiskontierten Anpflanzungskosten und die Summe der aufdiskontierten Bodenrenten, die ja noch nicht "bezogen" werden konnten, bilden zusammen den Wert, den ein Holzbestand im Alter  $t$  repräsentiert. Ökonomisch korrekt ausgedrückt entspricht der Schattenpreis des stehenden Holzes dem auf den Zeitpunkt  $t$  abdiskontierten Ernteertrag ( $pf(T)e^{-i(T-t)}$ ) minus der Summe der Bodenrenten abdiskontiert auf  $t$ . Vom Barwert des künftigen Ertrages sind also die bis zum Erntetag anfallenden Bodenopportunitätskosten abzuziehen.

Der Wert eines aus  $t$ -jährigen Bäumen bestehenden Waldes ( $W(t)$ ) setzt sich aus den zwei Teilen Kapitalwert des Holzbestandes ( $S(t)$ ) und des Bodens ( $B$ ) zusammen, wie aus Gleichung (2.2.7) ersichtlich wird:

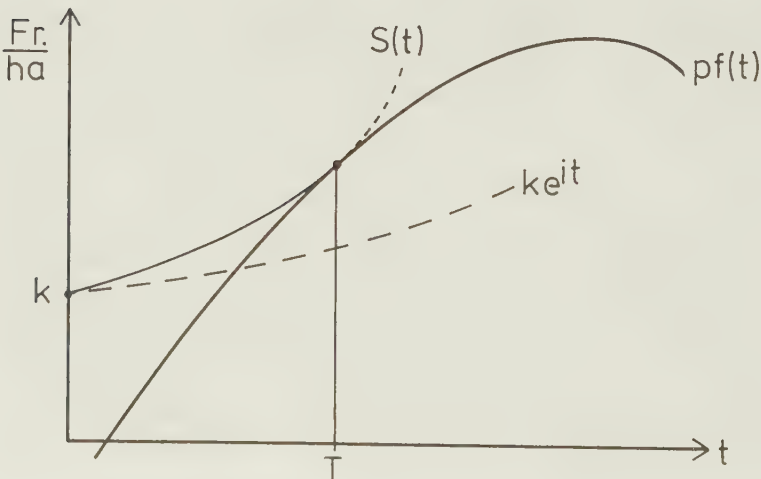
$$(2.2.7) \quad W(t) = S(t) + B .$$

Die Maximierung des Bodenwertes ( $B$ ) optimiert damit auch den Wert eines  $t$ -jährigen Bestandes ( $S(t)$  mit  $t < T$ ) und somit erlangt der Wald ein Wertmaximum. Man beachte, dass  $S(t)$  den Kapitalwert eines Bestandes repräsentiert, dessen Bäume alle im selben Altersjahr stehen. Wie im dritten Teil gezeigt wird, trifft bei altersmässig durchmischten Wäldern eine Waldwertmaximum-Bodenwertmaximum-Beziehung nicht zu.

### 2.3 Graphische Darstellung des Optimierungsproblems

Wie oben dargelegt wurde, besteht das Optimierungsproblem darin, dasjenige  $T$  zu finden, das eine maximale Bodenrente ermöglicht. Graphik 2.2.1 zeigt, wie dies zeichnerisch bewerkstelligt werden kann.

Graphik 2.2.1 Die Bestimmung der optimalen Umtriebszeit



Wir suchen diejenige  $S(t)$ -Kurve (durch  $k$  gehend), die gerade noch die Kurve  $pf(t)$  tangential berührt. Im Berührungspunkt  $A$  ist Gleichung (2.2.4) erfüllt, die Rente demnach maximal, sowie  $T$  bestimmt. Jede andere  $S(t)$ -Kurve erreicht  $pf(t)$  nicht oder schneidet diese. Zwischen zwei Schnittpunkten tritt der Fall ein, dass die zu Markterlösen bewerteten Holzbestände höher als ihre Schattenpreise ausfallen. Eine Verkürzung der Umtriebszeit erlaubt in solchen Fällen eine Steigerung der Bodenrente. Die  $S(t)$ -Kurve zeigt die ökonomischen Holzbestandeswerte zwischen den Altern  $0$  und  $T$ .

Die folgende Graphik (2.2.2) unterscheidet sich von der vorhergehenden dadurch, dass alle Grössen als Barwerte erscheinen. Die Nettoerlösfunktion wird zu  $pf(t)e^{-it}$  und die Kurve der Bestandeskapitalwerte ( $S(t)$ ) verändert sich wie folgt:

$$(2.2.6a) \quad S^*(t) = S(t)e^{-it} = k + r \frac{1-e^{-it}}{i}.$$

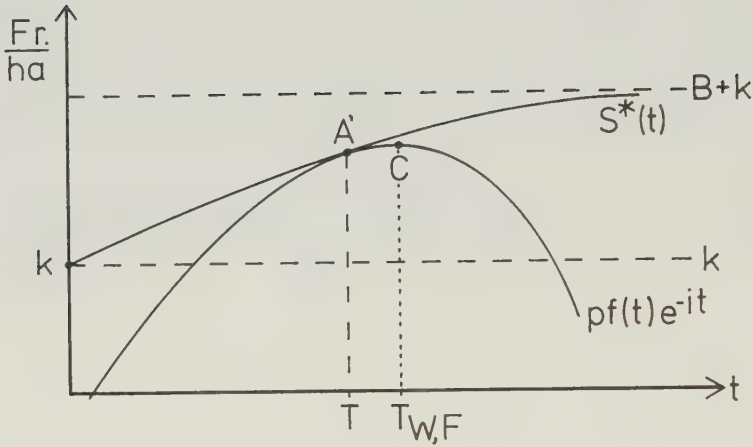
Statt zu Gegenwartswerten wird der Kapitalwert des Bestandes als Barwert im Zeitpunkt Null ausgewiesen. Isobarwertkurven (vgl. die Kurve  $ke^{it}$  in Graphik 2.2.1) werden aufgrund dieser Barwertbildung zu parallel zur  $t$ -Achse verlaufenden Geraden.

Der tangentielle Berührungspunkt  $A'$  der  $S^*(t)$ -Kurve mit der  $pf(t)e^{-it}$ -Kurve bestimmt analog zur Konstruktion in Graphik 2.2.1 wiederum die den Bodenwert maximierende Umtriebszeit  $T$ . Zur Darstellung des Bodenwertes kann von folgender Bedingung Gebrauch gemacht werden:

$$(2.2.8) \quad \lim_{t \rightarrow \infty} S^*(t) = k + \frac{r}{i} = k + B.$$

Mit zunehmendem  $t$  nähert sich die  $S^*(t)$ -Kurve asymptotisch dem um die Begründungskosten ( $k$ ) vergrösserten Bodenwert an. Im Punkt  $C$  (Maximum der  $pf(t)e^{-it}$ -Kurve) herrscht Gleichheit zwischen dem relativen Wertzuwachs und dem Zinssatz ( $i$ ), die sich bei einer Umtriebszeit  $T_{W,F}$  einstellt ( $T < T_{W,F}$ ).

Graphik 2.2.2 Die Bestimmung der optimalen Umtriebszeit und des maximalen Bodenwertes

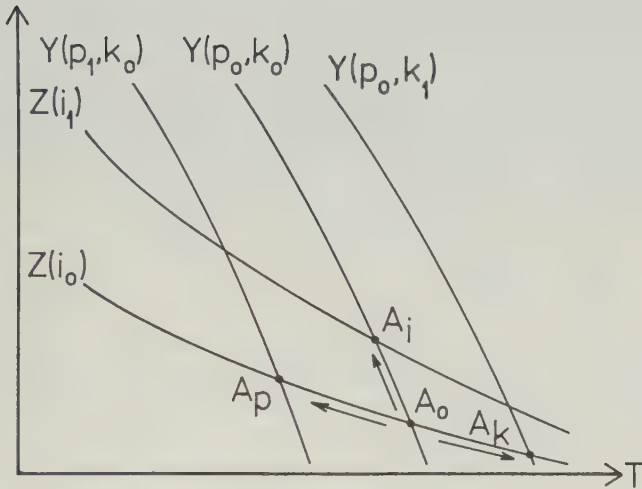


#### 2.4 Komparative Statik

In erster Linie sollen die Auswirkungen von Variablenänderungen auf die optimale Umtriebszeit untersucht werden. Dazu wird die Bedingung zweiter Ordnung benötigt, die besagt, dass die Ableitung der Gleichung (2.2.4) kleiner als Null sein muss. Anstelle der in Gleichung (2.2.5) gewählten kompakten Darstellungsform kann die hinreichende Bedingung alternativ formuliert werden:

$$(2.2.9) \quad \frac{pf''(T)(pf(T)-k)-(pf'(T))^2}{(pf(T)-k)^2} < - \frac{i^2 e^{-iT}}{(1-e^{-iT})^2} .$$

### Graphik 2.2.3 Komparative Statik



Es gilt:  $i_1 > i_0$ ,  $p_1 > p_0$ ,  $k_1 > k_0$

Die linke Seite vom Gleichheitszeichen in Gleichung (2.2.4a) entspricht der Kurve  $Y(p, k)$  und die rechte Seite der Kurve  $Z(i)$  der Graphik 2.2.3. Die Steigung von  $Z(i)$ , die rechter Hand des Ungleichheitszeichens in (2.2.9) formuliert wurde, ist absolut kleiner als die Steigung der  $Y(p, k)$ -Kurve (links des Ungleichheitszeichens in (2.2.9)). Man beachte, dass beide Kurven eine negative Neigung aufweisen.

Eine Erhöhung des Zinssatzes (von  $i_0$  auf  $i_1$ ) verschiebt die  $Z$ -Kurve nach oben. Statt im ursprünglichen Schnittpunkt  $A_0$  kreuzen sich die beiden Kurven in  $A_i$ . Der neue Schnittpunkt impliziert eine tiefere optimale Umtriebszeit  $T$  ( $A_i$  liegt links von  $A_0$ ). Zinssatzerhöhungen haben also geringere Umtriebszeiten zur Folge. Steigende Nettopreise verschieben die  $Y$ -Kurve nach links, somit sinkt die optimale Produktionsperiodenlänge. Die  $Y$ -Kurve wird nach

rechts verschoben und schneidet die Z-Kurve in  $A_k$ , wenn die Bestandesbegründungskosten zunehmen. Aus der graphischen Illustration folgt:

$$(2.2.10) \quad \frac{\partial T}{\partial i} < 0, \quad \frac{\partial T}{\partial p} < 0, \quad \frac{\partial T}{\partial k} > 0 .$$

Ein zweites Ergebnis, das nur bedingt zur komparativen Statik zu zählen ist, betrifft die Bodenwertänderungen, die von Variationen der Bestimmungsgrößen ausgehen. Die Ableitungen der Bodenwertformel (Gleichung (2.2.1)) zeigen folgende Beziehungen:

$$(2.2.11) \quad \frac{\partial B}{\partial i} < 0, \quad \frac{\partial B}{\partial p} > 0, \quad \frac{\partial B}{\partial k} < 0 .$$

Höhere Zinssätze oder Bestandesbegründungskosten senken den Bodenwert. Steigerungen des erntekostenfreien Erlöses je Ernteeinheit (p) bewirken Bodenwertzunahmen.

Alle Resultate der komparativen Statik wurden nur der Vollständigkeit halber aufgeführt, auf die Niederschrift in Form mathematischer Ungleichungen wird aus diesem Grunde verzichtet.

## 2.5 Oekonomische Interpretation der Faustmann-Optimierung

Die Faustmann-Lösung, wie sie Gleichung (2.2.4a) darstellt, besitzt den Nachteil, kaum unmittelbar und sinnvoll ökonomisch interpretierbar zu sein. Sagt sie uns im wesentlichen nur, dass der relative Wertzuwachs grösser als der massgebende Zinssatz sein muss.

Einige elementare Umformungen, die von der Optimalbedingung in Gleichung (2.2.4a) zur alternativen Darstellung in (2.2.12) führen, lassen eine sinnvollere Interpretation der Faustmann-Optimierung zu:

$$(2.2.12) \quad pf'(T) = i \cdot pf(T) + r .$$

Einfach formuliert besagt Gleichung (2.2.12), dass im Optimum der Grenzertrag ( $pf'(T)$ ) gleich den Grenzkosten sein muss. Im Optimum wird der zusätzliche Ertrag, wenn mit der Ernte noch eine Periode

gewartet wird, gleich den Opportunitätskosten den Wald noch stehen zu lassen. Die Alternativkosten setzen sich analog zum Waldwert aus zwei Teilen zusammen. Zum einen entstehen Kosten, weil der Baumbestand, der einen Abtriebswert von  $pf(T)$  verkörpert, in seiner ursprünglichen Form belassen wird und dadurch ein Alternativertrag der Höhe  $i \cdot pf(T)$  entfällt. Gleiches gilt für den Boden. Das Zuwarten mit der Ernte um eine Periode verunmöglicht den anderweitigen Einsatz des Bodens, der einen Ertrag im Umfang der Rente ( $r$ ) ermöglicht hätte.

## 2.6 Der Beitrag von J.H. von Thünen

Von Thünen (1875) maximiert die Bodenrente eines altersmässig perfekt durchmischten Waldes, der geeignet ist, jedes Jahr die gleiche Holzmenge zu liefern, ohne Veränderungen in der Altersstruktur zu erleiden. Jeder Baumjahrgang belegt eine Bodenfläche gleichen Ausmasses. Jährlich wird der älteste, im Umtriebsalter  $T$  stehende Bestand geerntet, was einen Nettoerlös von  $pf(T)$  abwirft. Zu den Kosten  $k$  wird die geerntete Fläche mit einem neuen Bestand bestockt. Die Bodenrente pro Flächeneinheit ( $r_{Th}$ ) berechnet sich für den aus  $T$  Einzelflächen bestehenden Gesamtwald wie folgt:

$$(2.2.13) \quad r_{Th} = \frac{1}{T} \{ pf(T) - \int_0^T pf(t) dt - k \} .$$

Vom Nettoernteerlös ( $pf(T)$ ) sind einerseits die Bestandesbegründungskosten ( $k$ ) und andererseits die Opportunitätskosten aller Einzelbestände abzuziehen, um als  $T$ -ter Teil die Bodenrente ( $r_{Th}$ ) abzubilden.

Das Problem von Thünens bestand nun darin, die Umtriebszeit  $T$  zu finden, die zur maximalen Bodenrente ( $r_{Th}$ ) verhilft. Die Ableitung von Gleichung (2.2.13) nach  $T$  führt nach einigen Umformungen zu:

$$(2.2.14) \quad pf'(T) = i \cdot pf(T) + r_{Th} .$$

In qualitativer Hinsicht scheint völlige Uebereinstimmung zwischen der Thünenschen Optimalbedingung in obiger Gleichung und derjenigen von Faustmann in Gleichung (2.2.12) zu herrschen. Tatsächlich

unterlag Thünen einem Irrtum, als er den Kapitalwert des Bestandes mit der Summe der Abtriebswerte identifizierte und zur Rentenberechnung in Gleichung (2.2.13) einsetzte.<sup>3)</sup> Wie Manz (1986) zeigt, resultiert Thünens Vorgehen in kürzeren "optimalen" Umtriebszeiten, als eine korrekte Bodenbewertung fordern würde.

Thünens Beitrag ist in mancherlei Hinsicht bemerkenswert. Im Gegensatz zu den Ansichten von Bülow (1958), Samuelson (1976), Löfgren (1983) und andern darf Thünens Forstökonomie nicht in die theoretische Tradition von Wicksell und Fisher eingeordnet werden. Weiter gilt es festzuhalten, dass der Einbezug der Opportunitätskosten des Bestandes von hohem ökonomischem Niveau zeugt. Zudem belegt die Konstruktion der Bodenrente, die Thünen im Gegensatz zu Faustmann explizit optimiert, dass der Zyklencharakter forstlicher Investitionen erkannt wurde.

Aus dogmenhistorischer Perspektive wäre es angezeigt, von einer "von Thünen-Faustmann-Optimierung" und nicht, wie dies Löfgren (1983) tut, von einem "Faustmann-Ohlin-Theorem" zu sprechen.

## **2.7 Der Reinertragsstreit und die Verdrängung der Zinsrechnung**

Die in den Abschnitten 2.1 bis 2.5 dargestellten forstökonomischen Beiträge, die stark von Faustmann geprägt wurden, fanden bei Forsttheoretikern weitgehende Anerkennung. Zu Beginn der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erreichte die neue Lehre, die Bodenreinertragslehre genannt wird, ihre Blütezeit.<sup>4)</sup> Bestand das Ziel der Waldbewirtschaftung vor der Entstehung der Bodenreinertragslehre im höchsten nachhaltigen Durchschnittsertrag, so gelangte mit der neuen Theorie der Rentabilitätsgedanke in die Forstökonomie. Die hohen, unrentablen Umtriebszeiten waren herabzusetzen und demgemäss die zu hohen Vorräte abzubauen. Die strikte Anwendung der neuen Lehre auf die alten bestehenden Wälder hätte während einer Phase der Neuanpassung eine Störung des Nachhaltigkeitsprinzips bewirkt.

Die Reaktion auf die Auswirkungen der Bodenreinertragslehre bestand in der theoretischen "Untermauerung" des altbekannten Bewirtschaftungsprinzips. Die Waldreinertragslehre, die sich gegen die Herabsetzung der Holzvorräte und der Waldrente wendete, verlangt "vollste Nachhaltigkeit bei hohem wertvollem Holzvorrats-

kapital, für das die Forderung einer Verzinsung vollkommen abgelehnt" wird (vgl. Wagner (1928) S. 198). Die Waldreinertragslehre strebt eine möglichst hohe Waldrente bei Wahrung der Nachhaltigkeit an.

In einem nachhaltig aufgebauten Wald, in einem Normalwald oder synchronisierten Wald, wie er später genannt werden wird, werde eine Umtriebszeit von  $T$  Jahren angewendet. Jährlich wird eine Parzelle geerntet, was einen Ertrag der Höhe  $pf(T)$  abwirft und Wiederbegründungskosten der Höhe  $k$  verursacht. Die übrigen  $T-1$  Parzellen bleiben unberührt; Durchforstungen finden keine statt. Zudem fallen keine Aufsichts- und Unterhaltskosten an. Die jährliche Waldrente pro Parzelle berechnet sich als Differenz von Ernteertrag zu Bestandesbegründungskosten dividiert durch die Parzellenzahl. Die Umtriebszeit ( $T$ ) ist derart anzusetzen, dass die Waldrente ( $R$ ) ein Maximum erreicht:

$$(2.2.15) \quad \max_T R = \frac{pf(T) - k}{T} .$$

Die Waldrente wird dann maximal, wenn gilt:

$$(2.2.16) \quad \frac{pf'(T)}{pf(T) - k} = \frac{1}{T} .$$

Im Waldrentenmaximum erreicht der relative Nettoerntewertzuwachs (linke Seite des Gleichheitszeichens in Gleichung (2.2.16)) den reziproken Wert der Umtriebszeit. Die Waldrentenoptimierung hängt in keiner Weise von der Höhe des Zinssatzes ab, wie aus der Problemformulierung in Gleichung (2.2.15) und aus der Optimalitätsbedingung in Gleichung (2.2.16) hervorgeht. Die linke Seite der Gleichung (2.2.16) stimmt mit derjenigen von Gleichung (2.2.4a) überein. Die Optimalbedingungen der Bodenwertmethode und der Waldrentenmethode weisen gemeinsame Züge auf. Bezüglich der rechten Seiten der Optimalitätsbedingungen zeigt es sich, dass gilt:

$$(2.2.17) \quad \lim_{i \rightarrow 0} \frac{i}{1 - e^{-iT}} = \frac{1}{T} .$$

Im Falle eines Zinssatzes von Null stimmen beide Umtriebszeiten überein. Die Bodenwertmaximierung erfordert tiefere Umtriebszeiten als die Waldrentenmaximierung, wenn mit positiven Zinssätzen gerechnet werden muss. Die Waldrentenmethode umgeht jedoch das Zinsproblem nicht, sondern verwendet implizit Zinssätze von Null.

Nach Wagner (1928) stand die Nachhaltigkeit der Waldreinertragslehre gegen die Rentabilität der Bodenreinertragslehre. Der jahrzehntelange Streit, der teils mit fanatischem Eifer geführt wurde, konnte nicht beigelegt werden, sondern wurde durch die Aktualität empirischer Problemstellungen in den Hintergrund gedrängt. Gelöst wurde die Frage nie, wenn auch von ökonomischer Seite die Faustmann-Optimierung eindeutig vorzuziehen ist.

Im schweizerischen Schrifttum ist der Reinertragsstreit kaum zu verfolgen, herrschten doch weitgehend versöhnlichere und auch besonnenere Stellungnahmen vor. Mit Ausnahme von Frömbling (1912), der die Bodenreinertragstheorie deshalb ablehnt, weil diese in der Vergangenheit zur Anpflanzung von später weniger gefragten Baumarten (ver-)führte, sind dezidierte Ansichten zu diesem Problemkreis kaum vorhanden.

Aus Landolt (1888), (1891a) und (1891b) geht hervor, dass nicht ein Theorienstreit sondern empirische Erfahrung und vielleicht auch das Fehlen geeigneten Datenmaterials bewirkte, dass sich die Bodenreinertragslehre in der Schweiz nicht durchsetzen konnte. Landolt (1888) bezeichnete den finanziellen Umtrieb (Bodenreinertragslehre) als privatwirtschaftlich geeignet. Hingegen war er der Meinung, für öffentliche Waldbesitzer sei der höchste Geldertrag (Waldreinertragslehre) anzustreben, weil der Uebergang auf den finanziellen Umtrieb zu sinkenden Holzpreisen führen würde. Den Vorteil, den er im Bodenwertmaximum erkannte, kompensieren die tieferen Holzpreise. Die Anpassung wäre demnach überflüssig.

Landolt (1891a) und (1891b) anerkennen zudem, dass prinzipiell die Verzinsung des Kapitals berücksichtigt werden müsse, somit der finanzielle Umtrieb einzuführen wäre. Die Berechnung der bodenwertoptimalen Umtriebszeit ergab jedoch tiefe Werte (70 Jahre gegen 110 bei Optimierung der Waldrente). Derart geringe Umtriebszeiten erlauben kaum die Produktion von Bau-, Säge- und Nutzholz. Um diese Sortimente produzieren zu können, sei ein Zuschlag zur

eben berechneten Produktionsdauer vonnöten. Die tatsächlich zu verfolgende Umtriebszeit liege in der Nähe der nach dem höchsten Geldertrag errechneten. Damit war der Bodenreinertragslehre eine Verbreitung in der Schweiz verwehrt. Da die Waldrentenrechnung den Zinssatz nicht als Variable einbezieht, konnte sich der Zins in der schweizerischen Forstökonomie nicht etablieren, wenn Umtriebszeitprobleme zu lösen waren. Eine prinzipielle Ablehnung der Zinsrechnung ist in der forstlichen Literatur der Schweiz nicht zu erkennen. Sowohl im letzten Jahrhundert (vgl. unbekannter Autor (1855) und Wild (1893)) wie in neuerer Zeit (vgl. Rieder (1950), Krebs (1958) und Ley/Matthies (1985)) finden Zinsüberlegungen in Bewertungsfragen Eingang, wie die kleine, fast beliebig verlängerbare Literaturauswahl belegt.

In der Schweiz wurde der Reinertragsstreit kaum geführt. Es waren ungeeignete Berechnungsergebnisse, die die Bodenreinertragsmethode und damit die Zinsrechnung in Umtriebszeitproblemen als obsolet erscheinen liessen. Wie aus der schweizerischen Forstliteratur zu entnehmen ist, wird die Zinsrechnung in Bewertungsfragen angewandt. Der Zins scheint eine selbstverständlich zu berücksichtigende Variable zu sein. Nach fast hundert Jahren wird in der vorliegenden Arbeit die Frage der optimalen Umtriebszeit wieder mit Zinsüberlegungen verbunden. Die derart gefundene Umtriebszeit bleibt hinreichend lang; Anpassungen an die neue Gleichgewichtssituation lassen sich vorteilhaft durchführen und das Prinzip der Nachhaltigkeit sowie die Erfüllung der Schutz- und Wohlfahrtsfunktionen bleiben gewährleistet. Die Ertragslage der Forstbetriebe verbessert sich, weil der Zins dafür sorgt, dass die Erlöse und Kosten mit dem Gewicht in die Berechnungen einfließen, das ihnen aufgrund der zeitlichen Produktionsstruktur beizumessen ist.

### **3. Forstökonomische Beiträge des 20. Jahrhunderts**

Leider war es der Forstökonomie vergönnt, das im 19. Jahrhundert erreichte Niveau zu halten bzw. dieses vollständig zu erkennen. Die Gegner der "Zinsrechnung" setzten sich durch und in der Folge wurden Verfahren zur Ertragsoptimierung eingesetzt, die ohne Zins und Rente auszukommen glaubten. Als verbreitetstes Beispiel gilt die Maximierung des nachhaltigen Ertrags. Man wählt die Umtriebszeit derart, dass der durchschnittliche Jahresgewinn pro Hektare eines vollkommen synchronisierten Waldes maximal wird. Ausser im Grenzfall eines Zinssatzes von Null werden die gewählten Umtriebszeiten zu hoch, die Bodenwerte demnach nicht maximal.<sup>5)</sup>

Desgleichen führt die Maximierung des internen Zinssatzes zur falschen Umtriebszeit, die jetzt kürzer als optimal ausfällt. Bei freiem Zutritt zum Bodenmarkt und vollkommener Konkurrenz besteht die optimale Lösung darin, den internen Zinssatz zu maximieren, der dann genau dem herrschenden Marktzins gleich wird. Jede kürzere als die kompetitiv erzwungene Umtriebszeit bewirkt tiefere Bodenrenten, kann somit nicht optimal sein. Die Meinung, der interne Zins sei die zu beachtende Grösse, wurde noch 1960 von Goundry vertreten.

#### **3.1 Wicksell und Fisher**

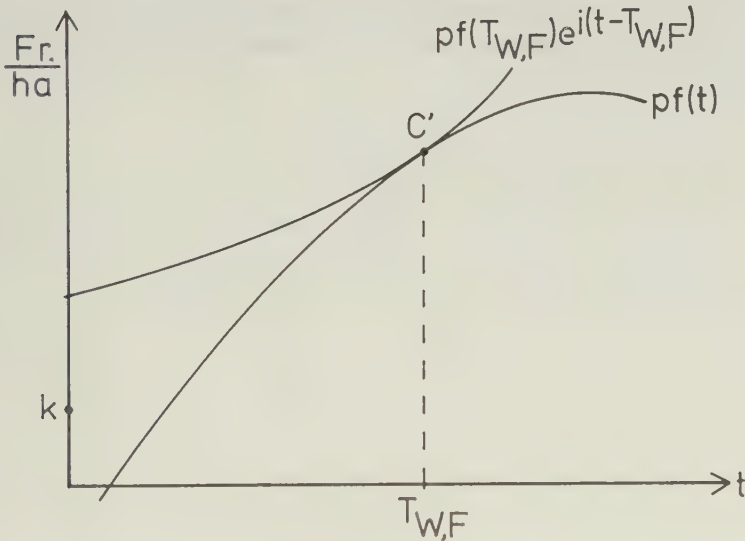
Eine nicht unrichtige wenn auch zu kurzsichtige Betrachtungsweise der Frage, wann ein Naturprozess das ökonomische Reifestadium erreicht habe, verdanken wir Wicksell (1913) und Fisher (1930). Ihr Problem bestand darin, den Zeitpunkt zu finden, der einen einmaligen abdiskontierten Ertrag minus die Bestandesbegründungskosten möglichst hoch werden lässt. Lediglich der Nettobarwert (NPV) eines Anpflanzungs-Ernte-Zyklus unterliegt der Optimierung. Die Herleitung des Bodenwertes in Gleichung (2.2.1) hat gezeigt, dass die Summe der Barwerte aller sich folgender Zyklen den Wert des Bodens bilden. Die dem ersten Zyklus folgenden gehen bei Wicksell-Fisher nicht ins Optimierungskalkül ein, wie die Gleichung (2.3.1) erkennen lässt:

$$(2.3.1) \quad \max_T \text{NPV} = pf(T)e^{-iT} - k ,$$

$$(2.3.2) \quad \frac{pf'(T)}{pf(T)} = i .$$

Der Nettobarwert (NPV) erreicht sein Maximum, wenn der relative Zuwachs gerade dem Marktzins gleich wird. Alleine die Kenntnis der  $pf(t)$ -Kurve erlaubt die Bestimmung der optimalen Umtriebszeit  $T_{W,F}$  (bei gegebenem Zinssatz). Die Inputkosten ( $k$ ) entscheiden nur darüber, ob das Investitionsprojekt durchgeführt wird ( $\text{NPV} \geq 0$ ) oder nicht ( $\text{NPV} < 0$ ).

Graphik 2.3.1 Die Optimierung eines Investitionszyklus



Aus der Graphik 2.3.1 geht hervor, dass diejenige Isobarwertkurve ( $pf(T_{W,F})e^{-i(t-T_{W,F})}$ ) gesucht wird, die so hoch verläuft, dass sie die bewertete Wachstumsfunktion ( $pf(t)$ ) in  $C'$  tangential berührt.

Der Punkt C' bei  $T_{W,F}$  entspricht dem Punkt C bei  $T_{W,F}$  in Graphik 2.2.2. Die Nichtberücksichtigung der "ewigen" Wiederholung des Anpflanzungs-Ernte-Zyklus beziehungsweise der Kosten des Bodens führt zu einer längeren und damit nicht bodenwertmaximalen Umtriebszeit ( $T_{W,F} > T$ ). Auf dem rentelosen Boden, es müssen somit keine Bodenopportunitätskosten berücksichtigt werden, resultiert durch die Maximierung des internen Zinsatzes, durch die Faustmann-Optimierung und durch die Wicksell-Fisher-Optimierung die gleiche Umtriebszeit (vgl. Bentley/Teeguarden (1965) und Kemp/Van Long (1983)).<sup>6)</sup> Wenn wir in Graphik 2.2.2 die Inputkosten (k) gedanklich auf das Niveau  $k = pf(T_{W,F})e^{-iT_{W,F}}$  heben, rückt Punkt A' in Punkt C. Die Kurve  $S^*(t)$  wird eine Horizontale,  $B+k=k$  somit  $B=0$  ( $r=0$ ),  $T$  damit gleich  $T_{W,F}$  und das Maximum des internen Zinssatzes wird dem herrschenden Marktzins gleich. Statt der Maximierung des Nettobarwertes des einmaligen Umtriebs optimiert man den Nettobarwert eines sich unendlich oft wiederholenden Investitionsprojektes. Die Faustmann-Optimierung liefert dafür die ökonomisch korrekte Lösung, da ja der Wert des Bodens nichts anderes darstellt, als der Nettobarwert einer sich unendlich oft wiederholenden Investition.

### 3.2 Wiederentdeckung der Faustmann-Optimierung

Offenbar gebührt Gaffney (1960) das Verdienst, gezeigt zu haben, dass die richtige Umtriebszeit in der Forstwirtschaft mittels der Faustmann-Optimierung ermittelt werden sollte. Der in Vergessenheit geratene Beitrag Faustmanns wurde in der Folge wiederaufgegriffen, erreichte eine neue Blüte und wurde gar in die englische Sprache übersetzt (Gane (1968)). Pearse (1967), Hirshleifer (1970), Samuelson (1976) und Comolli (1981), um nur einige wenige zu nennen, vertreten die kapitaltheoretisch korrekte Problemformulierung und Lösung, die bereits Faustmann entwickelt hatte. Samuelson (1976) ergänzt dahin gehend, dass der Einbezug der Opportunitätskosten des Bodens ( $r$ ) erlaubt, lediglich über einen Anpflanzungs-Ernte-Zyklus zu optimieren. Vom Barwert des in  $T$  Jahren anfallenden Ernteertrages ( $pf(T)e^{-iT}$ ) sind die Bestandesbegründungskosten ( $k$ ) und die Bodenopportunitätskosten der folgenden  $T$  Jahre abzuziehen:

$$(2.3.3) \quad pf(T)e^{-iT} - k - r \int_0^T e^{-it} dt = 0 .$$

Man wählt die Zyklenlänge  $T$  so, dass die Bodenrente ( $r$ ) einen möglichst hohen Wert erlangt. Die Ableitung der Gleichung (2.3.3) nach  $T$  hat die in Gleichung (2.2.12) gefundene Optimalbedingung zur Folge. Von Gleichung (2.3.3) wurde in den Graphiken 2.2.1 und 2.2.2 Gebrauch gemacht, um die Faustmann-Optimierung für nur einen Zyklus wiedergeben zu können.

Ein kostenorientierter kapitaltheoretischer Ansatz verwendet Comolli (1981). Von den fortschreitend abdiskontierten Erntertragszuwächsen (erster Term von Gleichung (2.3.4)) werden die Barwerte der laufenden Lagerkosten (zweiter Term) und Bodenrenten (dritter Term) und die Bestandesbegründungskosten ( $k$ ) abgezogen. Diese sicherlich interessante Betrachtungsweise des forstlichen Produktionsprozesses findet in Gleichung (2.3.4) ihren Ausdruck:

$$(2.3.4) \quad \int_0^T pf'(t)e^{-it} dt - i \cdot \int_0^T pf(t)e^{-it} dt - r \int_0^T e^{-it} dt - k = 0 .$$

Obige Gleichung stellt die Nullprofit-Bedingung bei vollkommener Konkurrenz und  $T$  somit die optimale Umtriebszeit dar. Die Optimalbedingung, die selbstredend wiederum mit der in Gleichung (2.2.12) formulierten übereinstimmt, folgt direkt aus der Ableitung nach der Obergrenze  $T$ .<sup>7)</sup>

### 3.3 Optimal Control

Die bisher entwickelten Lösungen zum Problem der optimalen Waldbewirtschaftung, die man als statisch bezeichnen kann, behalten ihre Gültigkeit, wenn ein dynamischer Ansatz, wie ihn die Kontrolltheorie liefert, verwendet wird. Die Forstökonomie erweist sich letztlich lediglich als eine Sparte in der Theorie natürlicher Ressourcen, die alle als Problem der optimalen Kapitalallokation über die Zeit aufzufassen sind. Smith (1977) weist darauf hin, dass die erschöpfbaren Ressourcen als Spezialfall (kein physisches Wachstum) der nicht erschöpfbaren Ressourcen gelten können.

Mit einem allgemeinen Optimal-Control-Ansatz, der die Opportunitätskosten des Bodens berücksichtigt, gelangt Anderson (1976) zu einer steady-state-Lösung, die identisch mit der Faustmann-Optimierung ausfällt. Die Maximierung eines ewigen Einkommensstromes (social utility bei Anderson), der durch die Produktion von Holz erzeugt wird, ist demnach konsistent mit allen Ergebnissen der vorhergehenden Abschnitte. Kemp/Moore (1979) gehen noch einen Schritt weiter, indem es ihnen gelingt zu zeigen, dass die Faustmann-Optimierung nicht nur für lineare Nutzenfunktionen (wie implizit von Faustmann u.a. verwendet) korrekt ist, sondern allgemein konvexe Nutzenfunktionen zu obigen Resultaten führen.

Ein spezifisch die Altersstruktur berücksichtigender Aufsatz stammt von Heaps/Neher (1979). Ausgehend von einer beliebigen Altersstruktur des Waldes, einer u-förmigen Erntekostenkurve (d.h. die durchschnittlichen Erntekosten variieren mit der Ernterate) und einer Obergrenze für die Ernterate untersuchen sie die Erntebewegung im Zeitablauf. Das optimale Ernteverhalten ändert von Periode zu Periode, ohne sich je zu wiederholen, aber tendiert (konvergiert) zu einem stationären Zustand. Die Ernterate konvergiert auf ein Niveau, das sich durch die minimalen durchschnittlichen Erntekosten charakterisieren lässt. Zudem hat auch die Umtriebszeit die Tendenz, sich auf eine Konstante hin zu entwickeln, die der von Faustmann relativ zu den gegebenen minimalen Erntekosten entspricht. Eine konstante Ernterate und die Faustmann-Umtriebszeit zusammen bedeuten nun, dass ein Wald beliebiger Altersstruktur allmählich in einen Zustand vollkommener Altersdurchmischung transformiert wird.

## Fussnoten zu Teil II

- 1) Faustmann kommt nicht nur einer korrekten Lösung nahe, sondern enthält die richtige Bodenwertdefinition. Der Mangel des Aufsatzes von Faustmann liegt eigentlich nur darin und Samuelson (1976) scheint wohl dies im Sinne gehabt zu haben, dass die Bodenwert- und damit die Umtriebszeitoptimierung nicht explizit durchgeführt wird.
- 2) Gleichung (2.2.1) bildet eine Vorstufe zur später zu verwendenden Bodenwertgleichung (3.2.15s).
- 3) Der kapitaltheoretische Fehler in von Thünens Forstökonomie wird durch die Herleitungen im dritten Teil geklärt werden. Insbesondere wird in der fünften Fussnote des dritten Teiles explizit die Divergenz von der Faustmannschen zur Thünenschen Rentendefinition dargelegt.
- 4) Die Ausführungen zur geschichtlichen Entwicklung des Rein-ertragsstreites stützen sich auf Wagner (1928).
- 5) Worin der kapitaltheoretische Irrtum der Waldwertmaximierung besteht, geht aus dem dritten Kapitel des dritten Teiles hervor. Die Reduktion des Waldwertes zugunsten einer Steigerung des Bodenwertes lässt einen Kapitalgewinn entstehen, der die Verringerung des Waldwertes mehr als wettmacht.
- 6) Wicksell hat sich nie in der Forstökonomie betätigt. Sein bekanntes Weinreifebeispiel, das der "Alternativen Konstruktion des Kapitalzinses und der Lösung des Verteilungsproblems" (vgl. Wicksell (1913) Teil III, Kapitel 2, Abschnitt D) diene, weist eine Optimalbedingung auf, die mit Gleichung (2.3.2) übereinstimmt. Er erwähnt als Beispiel nebst dem Reifenlassen des Weines auch das "Aufforsten wertlosen Bodens (wo irgendetwas Bodenrente während der Zeit, in welcher der Wald wächst, also nicht in Rechnung gezogen zu werden braucht)" (Wicksell (1913) III.2.D S.238). Wie das Zitat zeigt, bezog sich Wicksell auf den Spezialfall des Bodenwertes von Null, was, wie dargelegt wurde, mit Gleichung (2.3.2) eine völlig korrekte Umtriebszeitbestimmung erlaubt. Es darf als wahrscheinlich angenommen werden, dass Wicksell nie den forst-

ökonomischen Irrtum beging, dessen man ihn bezichtigt. Die "Wicksell-Fisher-Optimierung" müsste korrekterweise zur "Fisher-Optimierung" reduziert werden.

- 7) Ueber eine Sequenz nicht nachvollziehbarer Argumente glaubt Comolli (1981) zeigen zu können, dass in einem perfekt mit allen Altersklassen durchmischten Wald bei kontinuierlicher Produktion auf das Abdiskontieren in Gleichung (2.3.4) verzichtet werden könne. Ohne sich dessen bewusst zu sein, gelangt er zur Thünenschen Rentenformulierung und -optimierung. Ausgehend von einer theoretisch längst fundierten forstökonomischen Beziehung findet Comolli 1981 was Thünen vor dem Jahre 1850 ohne Vorbilder erschuf.

### III. TEIL    EIN VON THUENEN-FAUSTMANN-WICKSELL-MODELL ZUR BESTIM- MUNG DER KAPITALINTENSITAET DER HOLZPRODUKTION

#### 1.    Einleitung

Auf die in Teil II behandelte Literatur aufbauend, soll im folgenden ein Modell konstruiert werden, das Teile von von Thünen, Faustmann und Wicksell derart kombiniert, dass theoretische Einsicht und empirische Evidenz gewonnen werden können. Das Modell wurde von Beginn an auf unmittelbar empirische Brauchbarkeit hin ausgelegt.

Wie Manz (1986) zeigt, enthält von Thünen (1875) ein forstökonomisches Modell des stationären Gleichgewichts. Mit Ausnahme des Kapitalteiles waren Thünens Ueberlegungen korrekt; dies schlug sich einerseits in einer unrichtigen Festlegung der Bodenrente andererseits aber in einer zutreffenden Optimalitätsbedingung nieder. Dass der Kapitalwert des stehenden Holzvorrates nicht in dessen Marktwert als geschlagenes Holz bestehen kann, wird in Wicksell (1913) am Beispiel von Weinmost bzw. Wein verdeutlicht. Der ökonomische Wert oder der Kapitalwert des jungen Weines ist eine aus dem Verkaufspreis des reifen Weines und aus dem Zinssatz abgeleitete Grösse. Das Gesamtkapital einer ausschliesslich Wein produzierenden Volkswirtschaft in stationären Zustand ist dann die Summe der Kapitalwerte der jungen noch nicht bzw. gerade reifen Weine. Eine Zinssenkung bewirkt sowohl eine Verlängerung der optimalen Reifeperiode, somit eine Zunahme der Anzahl unreifer Weinjahrgänge, als auch eine Höherbewertung der bereits vorhandenen Weine. Der Gesamtkapitalbestand und die Kapitalintensität der Produktion reifer Weine steigen. Wicksells Weinbeispiel muss bloss um die Bodenrente ergänzt, der Begriff Wein durch den Begriff Holz ersetzt und um zwischenzeitliche Outputs (Durchforstungen) erweitert werden, um den Charakteristiken der Holzproduktion gerecht zu werden.

"Erweiterungen" dieser Art finden sich bereits bei Faustmann (1849), einem Beitrag übrigens, der bis in neueste Zeit nicht gebührend gewürdigt wurde. Samuelson (1976), Hirshleifer (1970), Clark (1976), Hyde (1980) etc., die Aufzählung könnte beliebig fortgesetzt werden, heben primär die Formel für den Bodenwert her-

vor oder würdigen die Technik, Zahlungsströme abzudiskontieren. Nach Gane (1968) entstand die Bodenwertformel bereits 1813 und folglich musste das Instrumentarium, um künftige Zahlungen abdiskontieren zu können, entwickelt sein. Faustmann muss diese Entwicklungen gekannt haben, denn er begründet die Rechnung mit Zinseszinsen nicht näher, sondern setzt diese ein, um die Formel für den Bodenwert zu ermitteln. Nach wenigen Seiten seines Aufsatzes ist dies vollbracht. Der Hauptteil des Papiers handelt dann auch, und dies scheint Faustmanns Hauptbeitrag zu sein, vom Kapitalwert eines gleichaltrigen Bestandes und vom Wert eines altersmässig perfekt durchmischten Waldes. Die ökonomische Begründung ist mangelhaft, aber die entwickelten Bestandeswertformeln führen zu den richtigen Ergebnissen. Faustmann (1849) enthält erstmals in der Forstökonomie korrekte Kapitalgrössen und nimmt Teile von Wicksells Kapitalmodell vorweg.

Wie erinnerlich wurde im Rahmen der Problemstellung (vgl. Teil I) die Länge der Umtriebszeit bzw. Produktionsperiode als vermutlich nicht den schweizerischen Verhältnissen angepasst bezeichnet. Die Annahme, die sich rasch aufgrund des aus den Statistiken gewonnenen Zahlenmaterials bilden kann, geht dahin, dass die heute in der Schweiz übliche Produktionsperiodenlänge zu verkürzen und die stehenden Holzvorräte zu verringern sind. Die theoretischen Grundlagen, die zur Präzisierung und Erklärung dieser ersten Vermutung vonnöten sind, werden in diesem Teil erarbeitet.

Im folgenden zweiten Abschnitt dieses dritten Teils wird ein Modell entwickelt, das mit einer elementaren Produktionsfunktion beginnend, in starker Anlehnung an Faustmann den Kapitalcharakter der Holzproduktion hervorhebt.

Die Bestimmung der optimalen Länge der Produktionsperiode wird Gegenstand des dritten Abschnittes sein. Nach erfolgter Optimierung kann gezeigt werden, in welchem Masse die Volkswirtschaft gewinnt, wenn von der aktuellen Produktionsperiodenlänge auf das Optimum gewechselt wird. Im wesentlichen wird die Bodenwert-Kapitalwert-Relation bestimmt, die einen jährlichen Einkommensstrom maximiert. Der volkswirtschaftliche Gewinn besteht in der Differenz von altem Einkommensstrom zu neuem und lässt sich in boden- und kapitalbedingte Teile aufspalten.

Um den Ausführungen in empirischen Teil folgen zu können, wo die erwähnte Optimierung und Schätzung der volkswirtschaftlichen Gewinne für den gesamtschweizerischen Durchschnitt erfolgt, ist eine detaillierte Kenntnis des theoretischen Teiles nicht erforderlich. Es empfiehlt sich die Aneignung des Inhalts weniger Begriffe wie Wald-, Boden- und Holzkapitalwert und synchronisierter Wald. Zudem ist zu beachten, dass die Verkürzung der Produktionsperiode ins Optimum der Freisetzung von in überkapitalisierten Wäldern gebundenem Kapital entspricht. Die Korrektur dieses Kapitalbetrages um die Veränderung des Waldwertes ergibt die obgenannte Erhöhung des Volksvermögens, den volkswirtschaftlichen Gewinn.

## 2. Der Kapitalcharakter der Holzproduktion

Bei einer allgemeinsten Formulierung der Produktionsfunktion beginnend, soll schrittweise zu expliziteren Ausdrücken übergegangen werden. Integralrechnung und stetiger Zins sind die zu verwendenden Instrumente. Unter die stetige Formulierung wird in der Regel die entsprechende diskrete Formel in Summenschreibweise gesetzt. Diesem Vorgehen war der Gedanke wegleitend, dass erstens kaum Unterschiede aus diskreter oder stetiger Betrachtungsweise erwachsen und zweitens im empirischen Teil nur diskrete Daten zur Verfügung stehen.

An den Unterabschnitt über die Produktionsfunktion schliessen Erläuterungen zum gewählten Einbezug der Durchforstungserträge an. Nach der Lösung des Produktionsproblems folgen Unterabschnitte, die der Bestimmung der Wertgrössen dienen. Wald-, Boden-, und Kapitalwert des Bestandes werden formelmässig dargestellt.

### 2.1. Die Produktionsfunktion in allgemeinsten Formulierung

Wie bei allen wirtschaftlichen Gütern ist auch in der Holzproduktion der Einsatz von Boden, Kapital und Arbeit erforderlich. Die Notwendigkeit der Bodenverwendung, wenn Holz produziert werden muss, steht ausser Frage. Kapitalgüter gelangen auf mannigfache Weise zum Einsatz. Zum einen bestehen sie aus Maschinen (Sägen, Seilwinden, Traktoren usw.), aus (umgangssprachlich) Zwischenprodukten wie Samen, Setzlinge, Dünger und ähnlichen und aus dem stehenden Holzvorrat, der noch nicht das Reifealter erreicht hat, aber geeignet ist, die Holzmasse zunehmen zu lassen. Letzterer Kapitalteil wird im Forstbetrieb dominierend sein. Arbeitsleistungen werden für die Bestandesbegründung, -pflege, Ernte, Verwaltung und dergleichen verwendet. Gleichung (3.2.1) spiegelt die funktionale Beziehung:

$$(3.2.1) \quad q = P(Z, K, L) \text{ .}$$

Boden (Z), Kapital (K) und Arbeit (L) werden entsprechend der Vorschrift P zur Erzeugung der Holzmasse q kombiniert.

Gleichung (3.2.1) zeigt die jährliche Holzproduktion eines Waldes der Grösse T (z.B. T Parzellen von je einer Hektare Umfang), der

eine synchrone Altersdurchmischung aufweist und zwar eine derart ideale Struktur, dass jährlich die Holzmasse  $q$  geerntet werden kann, ohne strukturelle Veränderungen zu bewirken. Der Wald befindet sich im stationären Gleichgewicht; Zuwachs und Ernte sind konstant bzw. aufeinander synchronisiert.

Die obige gedankliche Konstruktion, die allen theoretischen und empirischen Teilen dieser Arbeit zugrunde gelegt wird, sei nachfolgend kurz erläutert. Ein Wald mit einer Fläche gebildet aus  $T$  Parzellen lasse sich in seine  $T$  Einzelteile, die je mit gleichaltrigen Beständen bestockt sind, auflösen. Jedes Alter zwischen einem und  $T$  Jahren belegt demnach die Fläche einer Parzelle und die Länge der Produktionsperiode (bzw. Umtriebszeit) bemisst sich mit  $T$  Jahren. Ein derartig aufgebauter Wald erlaubt, wie bereits oben erwähnt, eine nachhaltige Holzproduktion; sein Altersaufbau ist ein idealer. Bei Einhaltung der Produktionsperiode von  $T$  Jahren erweist es sich, dass die jährliche Erntemenge genau dem Holzzuwachs eines Jahres gleich wird. Die Altersstruktur synchronisiert also den Zuwachs mit einem konstanten jährlichen Erntevolumen. Ein synchronisierter Wald weist demnach einen "idealen" Altersaufbau auf und erfüllt das Nachhaltigkeitsprinzip der Bewirtschaftung.<sup>1)</sup>

Die Produktionsfaktoren im nachhaltig bewirtschafteten Wald der Grösse  $T$  können in Einzelteile aufgelöst werden. Jährlich gelangt die Arbeitsmenge  $L$ , die sich, wie bereits erwähnt, in  $m$  Gruppen aufgliedern lässt, zur Anwendung:

$$(3.2.2.a) \quad L = L_1 + L_2 + \dots + L_m .$$

Eine Differenzierung in Güteklassen erfolgt beim Boden nicht. Der Boden sei gleichmässig fruchtbar und zugänglich, somit:

$$(3.2.2.b) \quad Z = T .$$

Der eingesetzte Kapitalstock gliedert sich wiederum in Gruppen. Entsprechend Gleichung (3.2.2.c) kann in Kapitalteile wie Maschinen, feste Einrichtungen etc. ( $C_1$  bis  $C_n$ ) und Kapital in Form des stehenden Holzvorrates ( $H(T)$ ) unterschieden werden:

$$(3.2.2.c) \quad K = C_1 + \dots + C_n + H(T) .$$

Der Holzkapitalteil ist selbstverständlich eine Funktion der gewählten Länge der Produktionsperiode und dies sowohl wegen der Grössenvariation des Waldes wie auch wegen der Veränderung des je-Parzellen-Durchschnittes.  $C_1$  bis  $C_n$  (wie auch  $L_1$  bis  $L_m$ ) steigen linear mit der Zunahme der Fläche, bleiben aber je Parzelle konstant. Somit erweist sich der Gesamtkapitalstock als Funktion der Produktionsperiodenlänge ( $K=K(T)$ ).

Die Folge ist, dass der jährliche Holzausstoss gesamthaft und je Parzelle eine Funktion der Variablen  $T$  wird. Die produzierte Masse wiederum setzt sich, wie Gleichung (3.2.3) zeigt, aus zwei Bestandteilen zusammen:

$$(3.2.3) \quad q(T) = f_m(T) + X_m(T) .$$

Der erste Teil ( $f_m(T)$ ) entspricht der Holzmasse des Abtriebschlasses auf der Parzelle, die mit dem ältesten Bestand ( $T$  Jahre alt) bestockt war.  $X_m(T)$  ist die Summe der Durchforstungen im synchronisierten Gesamtwald; das heisst, dass für die übrigen  $T-1$  Parzellen ein Durchforstungsregime besteht, das jährlich eine Holzmasse der Höhe  $X_m(T)$  liefert. Wobei in keiner Weise impliziert sei, jede Parzelle werde jährlich durchforstet.

## 2.2. Die Produktionstechnik

Die Betrachtungsweise der Holzproduktion wird zum Zwecke der Analyse der Produktionstechnik auf den  $T$ -ten Teil des synchronisierten Waldes eingeschränkt. Das heisst, es wird nur ein mit gleichaltrigen Bäumen bestandener Teilwald untersucht. Der synchronisierte Wald setzt sich bekanntlich, dies die gedankliche Konstruktion von Abschnitt 2.1., aus  $T$  Teilwäldern unterschiedlichen Alters und je gleicher Fläche zusammen.

Anstelle eines einfachen Punkt-Input-Punkt-Output-Modells, wie dies üblicherweise in solchem Zusammenhange konstruiert wird, tritt ein Strom-Input-Strom-Output-Modell. Die Inputs seien von dreifacher Art. Die Bestandesbegründung erfolge durch einen Punkt-

Input im Zeitpunkt Null. Danach fliesse ein kontinuierlicher Strom von Boden- und Managementinputs<sup>2)</sup>. Die Outputseite teilt sich in zwei Bereiche. Der Abtriebsschlag am Ende der Produktionsperiode der Länge  $T$  sei ein Punkt-Output, dem während  $T$  Jahren ein Strom von Durchforstungserträgen vorausging.

Ein Waldbesitzer, der die Inputs und Outputs in hohem Masse bestimmen kann, wird eine Kombination derselben wählen, die seinen Nutzen (z.B. finanzieller Gewinn) optimiert. Konkret hat er die Möglichkeit, den Punkt-Input der Bestandesbegründung, die Managementintensität, die Durchforstungen und die Länge der Produktionsperiode zu bestimmen. Dieses äusserst komplexe Optimierungsproblem wird durch die Annahme einer fixen Inputtechnologie einfacher. Zur Bestandesbegründung stehe genau eine Technik zur Verfügung, die entsprechend mit nicht variierbaren Kosten verbunden sein wird. Gleiches trifft für den Managementteil der Inputseite zu; das heisst, auch dem Management steht lediglich eine Technik mit definierten jährlichen Kosten zur Auswahl. Da die Inputseite als gegeben oder vorausbestimmt zu betrachten ist, sind die Inputkosten fix. Kosten der Höhe  $k$  fallen an, wenn auf einer Parzelle baren Waldbodens ein neuer Bestand begründet wird. Nach der Bestandesbegründung fallen nicht variierbare Aufsichts-, Unterhalts- und Verwaltungskosten der Höhe  $a$  an. Der Term  $a$  bezeichnet also die als Managementkosten benannten Aufwendungen, die für eine Parzelle während eines Jahres anfallen.

Etwas flexibler sei die Outputseite gestaltet. Der Waldbesitzer hat also das Problem, relativ zu den gegebenen Inputs die Outputs derart zu bestimmen, dass der Gewinn maximal wird. Der gesamte Output setze sich aus zwei Komponenten zusammen. Während der Produktionsperiode von  $T$  Jahren können Durchforstungserträge realisiert werden.  $T$  Jahre nach der Bestandesbegründung, also am Ende der Produktionsperiode, erfolgt der Abtrieb des dann vorhandenen Bestandes. Die Grösse dieses Endbestandes hängt weitgehend ab von Ausmass und zeitlicher Staffelung der Durchforstungen. Auch die Durchforstungen selbst bedingen einander gegenseitig. Von Jahr zu Jahr hat also der Waldbesitzer zu entscheiden, wieviel vom Zuwachs im Bestand verbleiben soll. Die Differenz zwischen dem jährlichen Zuwachs ( $g(t, V(t))$ ), welcher eine Funktion des Bestan-

desalters  $t$  und des Vorrats  $V(t)$  ist, und der Vorratsveränderung ( $\frac{d}{dt}V(t)$ ), der in den Bestand übernommene Zuwachs, entspricht der Durchforstung. Die Gleichungen (3.2.4) zeigen das Optimierungsproblem in mathematischer Form:

$$(3.2.4) \quad \max_{V, T} G = \left\{ \int_0^T (g(t, V(t)) - \frac{d}{dt}V(t)) e^{-it} dt \right. \\ \left. + V(T) e^{-iT} - k \right\} \frac{1}{1 - e^{-iT}} - \frac{a}{i}$$

$$R : V(t) > 0 \quad \text{für alle } t \leq T$$

$$V(t) \leq \int_0^t g(t^*, V(t^*)) dt^* \quad \text{für alle } t \leq T.$$

Der Barwert aller künftigen Gewinne ( $G$ ) setzt sich aus vier Teilen zusammen. Da die ersten drei sich alle  $T$  Jahren wiederholen, kann deren Summe, die in den geschweiften Klammern steht, mit  $1/(1-e^{-iT})$  multipliziert werden, wobei "e" die Basis des natürlichen Logarithmus und die Variable  $i$  den Zinssatz bezeichnen. Die erste Komponente, der Integralausdruck, entspricht dem Barwert der Durchforstungseinnahmen während eines Produktionszykluses von  $T$  Jahren. Der Barwert des Abtriebsschlages stellt die zweite Komponente dar und  $k$  steht für die Kosten der Bestandesbegründung zum Zeitpunkt Null. Gleiche Produktionszyklen folgen auf unabsehbare Zeit, weshalb der (Brutto-) Barwert eines Zyklus mit dem oben erwähnten Term multipliziert werden kann, um die dem ersten Zyklus folgenden Erträge zu berücksichtigen. Die Managementkosten ( $a$ ) sind ein "ewiger" Kostenstrom von jährlich gleicher Höhe, ihr kapitalisierter Wert ( $\frac{a}{i}$ ) wird in Abzug gebracht.

Um den Gewinn wiederholter Anpflanzungs-Durchforstungs-Abtriebszyklen zu maximieren, braucht der Waldbesitzer jetzt nur noch den Vorrat ( $V(t)$ ) zu regulieren und die Länge der Produktionsperiode zu bestimmen.

Bei der Vorratsregulation ist er mit zwei Restriktionen konfrontiert. Der Vorrat muss grösser als Null sein (vgl. die erste Nebenbedingung in den Gleichungen (3.2.4)), da sonst kein Holzzuwachs erfolgen kann. Gleichzeitig hat sein Produktionsplan zu berücksichtigen, dass der Vorrat zu keinem Zeitpunkt die Summe der Zuwächse überschreiten kann (zweite Nebenbedingung in (3.2.4)). Die Gleichungen (3.2.4) beschreiben ein kontrolltheoretisches Problem mit  $\frac{d}{dt}V(t)$  als Kontrollvariablen. Näslund (1969), Schreuder (1971), Clark (1976), Bensoussan et al. (1974) und andere enthalten ähnliche kontrolltheoretische Problemstellungen. Mit einer mathematischen Lösung eines solchen Problems hat sich Schreuder (vgl. Schreuder (1971)) näher befasst und festgestellt, dass im Lösungsprozess nicht-lineare Differentialgleichungen höherer Ordnung entstehen, die sich nur lösen lassen, wenn die "roots" numerisch bestimmt werden.

Interessanterweise liegt die Hauptschwierigkeit nicht in der theoretischen Bewältigung des Durchforstungsproblems, sondern bereits einfachere Fragestellungen können empirisch kaum beantwortet werden. Leibundgut u.a. (1971) zeigt lediglich, dass unterschiedliche Durchforstungsintensitäten auf die Vorratsmassen wirken, die Vorratswerte jedoch nur geringfügig beeinflussen. Das bedeutet, dass tiefere Vorratsmengen aufgrund stärkerer Durchforstungen durch höhere Qualität wertmässig relativ zu schwächeren Durchforstungstechniken kompensiert werden. In den Fällen, wo die Durchforsterträge die Kosten übersteigen, wäre ein intensives Durchforsten angezeigt. Uebersteigen die Kosten die Erträge, so müsste schwach oder nicht durchforstet werden.

Das Fazit, das aus den vorstehenden Betrachtungen gezogen werden kann, geht dahin, dass sowohl theoretisch wie empirisch das Durchforstungsproblem unzureichend gelöst ist. Dem komplexen kontrolltheoretischen Problem der Durchforstungsoptimierung stehen bloss grobe empirische Erkenntnisse gegenüber, die in keiner Weise erhellend zu wirken vermögen. Die Durchforstungstechnik wird deshalb für den weiteren Verlauf der Arbeit als fix angenommen. Das heisst, dass unabhängig der ökonomischen Rahmenbedingungen immer zu gleicher Zeit und mit gleicher Stärke Durchforstungseingriffe erfolgen. Ausser der Länge der Produktionsperiode werden

folglich alle Inputs und die Durchforstungsoutputs als nicht dem Optimierungskalkül unterliegend betrachtet. Die Optimierung des Produktionszeitraumes legt den Durchforstungsstrom, den Abtriebschlag und die Kapitalintensität der Holzproduktion fest.

### 2.3. Erlöse und Kosten im stationären Gleichgewicht - der Waldwert

Um die Produktionstechnik in der Waldbewirtschaftung diskutieren zu können, wurde die zeitliche Sequenz von Produktionseingriffen (Bestandesbegründung, Durchforstungen, Abtrieb und Aufsicht und Verwaltung), die in einer Parzelle erfolgen, analysiert. Es wurde, einfach ausgedrückt, eine Waldparzelle über  $T$  Jahre hinweg, die sich dann allerdings fortgesetzt wiederholen, bezüglich ihrer wirtschaftlichen Ereignisse betrachtet.

Die Analyse dieses Abschnittes bezieht sich auf einen synchronisierten Wald mit einer Fläche, die dem Umfang von  $T$  Parzellen entspricht, und dessen Kosten und Erlöse, die während eines Jahres anfallen. Die Altersstruktur und die Bewirtschaftungsart sind denjenigen in Abschnitt 2.1 geschilderten gleich. Das heisst, dass jedes Bestandesalter von Null bis  $T$  Jahren je eine Parzelle Wald bildet, womit dieser synchronisierte Wald eine Fläche wie  $T$  Parzellen belegt. Dazu sind drei Präzisierungen anzubringen, wobei zwei die Variable  $T$  und die dritte das Belegungsmuster der Einzelbestände betreffen. Die Variable  $T$  trägt keine Einheit, sondern stellt ein reiner numerischer Wert dar. Ein  $T$  von hundert bedeutet demnach, dass der Bewirtschaftung eine Produktionsperiode von hundert Jahren zugrunde liegt und dies unabhängig davon, ob ein Einzelbestand oder ein synchronisierter Wald den Analysegegenstand bildet. Wird jedoch ein synchronisierter Wald betrachtet, wie dies künftig meistens der Fall sein wird, so zeigt die Variable  $T$  nebst der Länge der Produktionsperiode in Jahren auch die Flächenausdehnung des synchronisierten Waldes in Parzellen. Die zweite Anmerkung betrifft die Qualität des vorläufig verwandten  $T$ . Gegenstand dieses Kapitels ist die Konstruktion der Wertgrössen bei gegebenen In- und Outputströmen und gegebener Produktionsperiodenlänge  $T$ , die in keiner Weise eine optimale zu sein braucht. Vielmehr wird  $T$  arbiträr festgesetzt. Die Bestimmung der vorteilhaftesten Produk-

tionsperiodenlänge wird im dritten Kapitel dieses theoretischen Teiles erfolgen. Die letzte Präzisierung betrifft die gegenseitige Durchdringung aller Altersklassen des synchronisierten Waldes. Die Aufteilung des synchronisierten Waldes in gleichaltrige Einzelbestände, die je eine Parzelle bilden, ist ein gedankliches Konzept, das nicht eine räumliche Gliederung in Einzelbestände impliziert. Der Wald kann als homogenes Gebilde, was eine perfekte räumliche Durchmischung aller Altersklassen bewirken würde, verstanden werden.

Im synchronisierten Wald, der mit einer Produktionsperiodenlänge von  $T$  Jahren auf einer aus  $T$  Parzellen gebildeten Fläche bewirtschaftet wird, erfolgt pro Jahr ein Abtriebsschlag in einer Parzelle und es finden in den übrigen Parzellen Durchforstungen statt. Der jährliche Bruttoerlös durch den Verkauf der Gesamternte  $q(T)$  ist in Gleichung (3.2.5) dargestellt:

$$p_T q(T) = f_b(T) + X_b(T)$$

(3.2.5)

$$\text{mit: } X_b(T) = \int_0^T x_b(t) dt .$$

$p_T$  sei der Durchschnittspreis eines Kubikmeters Holz, der die Zusammensetzung, wie sie Gleichung (3.2.3) zeigt, aufweist.  $f_b(T)$  steht für den Wert des Abtriebsschlages und  $X_b(T)$  entspricht dem Gesamtwert der Durchforstungen, wobei noch keine Berücksichtigung der Erntekosten erfolgte. Die Summe bzw. das Integral aller Einzeldurchforstungen ( $x_b(t)$ ) ergibt die Gesamtdurchforstung (wert- wie mengenmässig). Die Ernte verursacht Kosten. Gleichung (3.2.6) schlüsselt die Erntekosten ( $h(q(T))$ ) in Arbeits- und Kapitalkosten auf:

$$h(q(T)) = w_1 L_1 + \dots + w_{n1} L_{n1} + j_1 C_1 + \dots + j_{n1} C_{n1}$$

(3.2.6)

$$\text{mit: } j_y = i + v_y \quad \text{für } y = 1, \dots, n1 .$$

Die Ernte erfordert den Einsatz verschiedener Arbeitsleistungen ( $L_1, \dots, L_{m1}$ ), die jeweils mit ihrem Lohnsatz ( $w_1, \dots, w_{m1}$ ) zu entschädigen sind. Zudem werden Kapitalgüter ( $C_1, \dots, C_{n1}$ ) verwendet, deren bloße Existenz Opportunitätskosten der Höhe  $i$  (Zinssatz) verursacht und die im Erntegebrauch den individuellen Verschleissraten ( $v_1, \dots, v_{n1}$ ) unterliegen. Man beachte, dass sich der Einsatz der Arbeits- und Kapitaleleistungen auf einen gesamten Wald bezieht, der sich aus  $T$  Parzellen zusammensetzt.

Der Nettoernteerlös ( $E_1(T)$ ), berechnet als Differenz zwischen Bruttoerlös und Erntekosten, erscheint in Gleichung (3.2.7):

$$(3.2.7) \quad E_1(T) = f_b(T) + X_b(T) - h(q(T)) = f(T) + X(T) .$$

Die Summe aus dem Nettoabtriebserlös ( $f(T)$ ) und dem Nettodurchforstungserlös ( $X(T)$ ) bildet mithin den in Gleichung (3.2.7) bestimmten Nettoernteerlös.

Noch erfolgter Ernte findet in einer Parzelle eine Bestandesneubegründung statt, die die in Abschnitt 2.2 erwähnten Punkt-Input-Kosten der Höhe  $k$  verursachen.

Gleichung (3.2.8) zeigt die Zusammensetzung dieser Kosten:

$$(3.2.8) \quad k = w_{m1+1}L_{m1+1} + \dots + w_{m2}L_{m2} + j_{n1+1}C_{n1+1} + \dots + j_{n2}C_{n2} .$$

Auch die Begründungskosten sind eine Summe aus Arbeits- und Kapitalkosten. In gleicher Weise lassen sich, wie in Gleichung (3.2.5) getan, die Managementkosten ( $A$ ) aufgliedern. Man beachte, dass  $A$  Leitungs-, Aufsichts- und Unterhaltskosten widerspiegelt, die in einem aus  $T$  Parzellen bestehenden Wald jährlich anfallen. Die Managementkosten je Parzelle bezeichnen wir mit  $a$  ( $A=a \cdot T$ ).

$$(3.2.9) \quad A = w_{m2+1}L_{m2+1} + \dots + w_m L_m + j_{n2+1}C_{n2+1} + \dots + j_n C_n$$

Pro Jahr wirft demzufolge ein synchronisierter Wald von  $T$  Parzellen einen Nettoerlös ( $E_2(T)$ ) entsprechend Gleichung (3.2.10) ab:

$$(3.2.10) \quad E_2(T) = E_1(T) - k - a \cdot T .$$

Zur Ermittlung des Nettoerlöses in Gleichung (3.2.10) wurden die direkten und in der Regel buchhalterisch erfassten Kosten eines bodenbesitzenden Waldbewirtschafters berücksichtigt.  $E_2(T)$  wäre also diejenige Grösse, die in der Buchhaltung als Betriebsgewinn ausgewiesen wird. Ein weiterer in der Buchhaltung nicht enthaltener Kostenfaktor stellt das blosse Stehenlassen des Holzvorrates mit dem Kapitalwert  $H(T)$  dar<sup>3)</sup>. Durch die Nichtliquidation dieses Vorrats entstehen Kosten (Opportunitätskosten) in Form entgangener Zinserträge auf Alternativanlagen in der Höhe von  $i \cdot H(T)$ . Statt  $E_2(T)$  wird in Tat und Wahrheit nur ein Nettoerlös der Höhe  $E_3(T)$  erwirtschaftet (Gleichung 3.2.11):

$$\begin{aligned}(3.2.11) \quad E_3(T) &= E_2(T) - i \cdot H(T) \\ &= E_1(T) - i \cdot H(T) - k - a \cdot T .\end{aligned}$$

Bisher wurden die Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital gebührend berücksichtigt, jedoch der Boden kostenmässig nicht erfasst. Der Wald stockt auf einer Bodenfläche, die den Nettoerlös  $E_3(T)$  ermöglicht. Da alle Produktionsbeiträge zu den jeweiligen Sätzen entschädigt wurden, kann der verbleibende Nettoerlös ( $E_3(T)$ ) als Bodeneinkommen identifiziert werden. Der Nettoerlös  $E_2(T)$  stellt somit das Vermögenseinkommen des Waldbesitzers dar, das von den zwei Vermögensteilen, stehender Holzvorrat und Boden, her stammt. In Gleichung (3.2.12) wird der jährliche Bodeneinkommensstrom ( $r$ ) berechnet, der der Fläche einer Parzelle beigemessen werden kann:

$$E_3(T) = r \cdot T$$

$$\begin{aligned}(3.2.12) \quad r \cdot T &= E_1(T) - i \cdot H(T) - k - a \cdot T \\ r &= \frac{1}{T} \{ E_1(T) - i \cdot H(T) - k \} - a .\end{aligned}$$

Die Bodenrente je Parzelle ( $r$ ) fällt für alle  $T$  Parzellen an. Sie wird in Gleichung (3.2.12) als blosses Residuum behandelt. Bei perfekter Konkurrenz um die  $T$  Parzellen Waldboden wird sich die Bodenrente, die man gerade noch gewillt ist zu bezahlen, auf die in obiger Gleichung ermittelte Höhe stellen. Die Gewinne werden

durch die Konkurrenz eliminiert bzw. spiegeln sich im Bodenwert wider.

Der in Gleichung (3.2.12) berechnete Bodeneinkommensstrom zerfällt in zwei Teile, nämlich die kompetitive Bodenrente, die marktmässig gesetzt wird, und den "bodenbedingten" Reingewinn. Das Ziel eines Waldbewirtschafters, insbesondere bei zu Marktsätzen gepachtetem Boden, bestünde demnach in der Maximierung des Reingewinnes, der im Falle perfekter Konkurrenz sein Maximum bei Null erreicht. Die Festlegung der in Gleichung (3.2.12) definierten Grösse als Bodenrente ist korrekt, wenn die Rente als Residualgrösse verstanden wird.

Die Gleichung (3.2.13) fasst die Erlösdiskussion zusammen. Der jährliche Einkommensstrom aus der Waldbewirtschaftung ( $E_1(T) - k - a \cdot T$ ) besteht somit aus den Bodenrenten ( $r \cdot T$ ) und der Verzinsung des Holzkapitalbestandes:

$$(3.2.13) \quad E_1(T) - k - a \cdot T = r \cdot T + i \cdot H(T) .$$

Der Wald besitzt in dem Masse Wert, wie er geeignet ist, das jährliche Einkommen  $E(T) - k - a \cdot T$  zu erzeugen. Die Kapitalisierung dieses Zahlungsstromes entspricht demnach dem Waldwert (W):

$$(3.2.14) \quad W = \frac{E_1(T) - k - a \cdot T}{i}$$

$$(3.2.14a) \quad W = \frac{r}{i} T + H(T) = B \cdot T + H(T) .$$

Der Wert des Waldes (W) setzt sich aus dem Wert des Bodens ( $B \cdot T$ ) und dem Wert des darauf stockenden Bestandes ( $H(T)$ ) zusammen. Diese zwei Komponenten des Waldwertes sind Gegenstand der nächsten drei Abschnitte. Zuerst soll der Wert des Bodens ermittelt werden. Da die Bodenrente in die Bestimmung des Holzkapitals Eingang findet, ist diese Reihenfolge eine zwangsläufige.

## 2.4. Der Bodenwert

Die Entwicklung des Wertes eines synchronisierten Waldes hat gezeigt, dass dieser aus zwei Teilen besteht. Soll der Wert eines dieser Teile berechnet werden, so setzt dies die A-priori-Kenntnis des andern voraus. Es dürfte unmittelbar einsichtig sein, dass Bestände gleicher Altersstruktur und gleicher Flächenausdehnung ungleiche Kapitalwerte aufweisen können, wenn sie unterschiedliche Bodenrenten ermöglichen. Der Wert des Bodens geht also in die Kapitalwertbestimmung des Bestandes ein. A-priori steht der Wert des Bestandes nur fest, wenn dieser nicht existiert, der Kapitalwert folglich die Höhe Null aufweist. Der Wert des Waldes, der aufgehört hat ein synchronisierter zu sein, wird somit dem T-fachen Bodenwert gleich. Zur Ermittlung des Bodenwertes muss lediglich der T-te Teil der Waldfläche, also bloss eine Parzelle, untersucht werden.

Im Zeitpunkt Null wird der Bestand mit den Kosten  $k$  begründet. Während  $T$  Jahren werde mehrmals durchforstet, was jeweils einen Nettoerlös (Verkaufserlös minus Erntekosten) von  $x(t)$  abwirft. Am Ende der Produktionsperiode von  $T$  Jahren wird der Bestand zum Nettoerlös von  $f(T)$  abgeerntet. Danach beginnt ein neuer Produktionszyklus von gleicher Art wie der erste. Diese Folge wiederholt sich unendlich oft. Pro Jahr erfordert die Waldparzelle Managementkosten (inkl. Unterhalt udgl.) der Höhe  $a$ .

Der Bodenwert wurde in den Gleichungen (3.2.15s) und (3.2.15d) als Summe bzw. Differenz dreier Quotienten dargestellt. Der erste Quotient entspricht der Barwertsumme unendlich oft wiederholter Produktionszyklen der Länge von  $T$  Jahren, die einen Nettoernteerlös durch Abtrieb des Bestandes in der Höhe von  $f(T)$  (mit Barwert von  $f(T)e^{-iT}$ ) bei Bestandesbegründungskosten der Höhe  $k$  abwerfen. Der Nenner adjustiert den Barwert eines Zyklus, der im Zähler steht, für den Fall, dass die Produktionszyklen der Länge  $T$  unendlich oft wiederholt werden. Ähnliches gilt für den zweiten Quotienten. Im Zähler erscheint der Barwert aller während des Produktionszeitraumes von  $T$  Jahren erzielten Durchforstungserträge. Wiederum passt der Nenner diesen Wert für unendlich häufige Wiederholung an. Der letzte Quotient umfasst die Summe aller jährlichen Managementkosten  $a$ , die in ihrer Gesamtheit als kapitali-

sierter Wert ( $\frac{a}{i}$ ) in Abzug zu bringen sind. Die Herleitung des Bodenwertes findet sich in Abschnitt 1.1 des Anhangs A. Der Bodenwert in stetiger Formulierung erscheint in Gleichung (3.2.15s), in diskreter Formulierung in Gleichung (3.2.15d):

$$(3.2.15s) \quad B = \frac{f(T)e^{-iT-k}}{1-e^{-iT}} + \frac{\int_0^T x(t)e^{-it}dt}{1-e^{-iT}} - \frac{a}{i}$$

$$(3.2.15d) \quad B = \frac{f(T)(1+i)^{-T-k}}{1-(1+i)^{-T}} + \frac{\sum_{t=1}^T x(t)(1+i)^{-t}}{1-(1+i)^{-T}} - \frac{a}{i}.$$

Die Variable  $i$  steht in Gleichung (3.2.15s) für den stetigen Zinssatz, der den Opportunitätskosten des in die Waldbewirtschaftung investierten Kapitals entspricht. In Gleichung (3.2.15d) repräsentiert  $i$  dementsprechend einen diskreten Zinssatz. Zur Variablen  $T$  ist wiederum zu bemerken, dass die Länge der Produktionsperiode noch nicht optimiert wurde. Der Bodenwert ( $B$ ), wie in den Gleichungen (3.2.15 s und d) dargestellt, entspricht dem Wert des Bodens, den dieser in der Holzerzeugung mittels der arbiträren Umtriebszeit  $T$  hat, und dürfte damit sein Optimum noch nicht erreicht haben. Die Bodenrente ( $r$ ), die der jährlichen Verzinsung des Bodenwertes entspricht, kann unmittelbar aus den Gleichungen (3.2.15 s und d) hergeleitet werden:

$$(3.2.16) \quad r = i \cdot B$$

$$(3.2.16s) \quad r = i \cdot \frac{f(T)e^{-iT-k}}{1-e^{-iT}} + i \cdot \frac{\int_0^T x(t)e^{-it}dt}{1-e^{-iT}} - a$$

$$(3.2.16d) \quad r = i \cdot \frac{f(T)(1+i)^{-T-k}}{1-(1+i)^{-T}} + i \cdot \frac{\sum_{t=1}^T x(t)(1+i)^{-t}}{1-(1+i)^{-T}} - a.$$

Nach Subtraktion der Managementaufwendungen (a) wird der Bodenbruttoertrag der Bodenrente gleich. Die Gleichungen (3.2.15) und (3.2.16) machen deutlich, dass der Wert des Bodens und die erzeugte Bodenrente lediglich eine Summe aller künftigen wirtschaftlichen, zu Barwerten erfassten Ereignisse dieser Parzelle repräsentieren.

## 2.5 Der Holzkapitalwert eines Einzelbestandes

Nach Gleichung (3.2.14) setzt sich der Wert des Waldes aus zwei Teilen zusammen. Es sind dies der Wert des Bodens und der Wert des Bestandes. Der Bodenwert liess sich ermitteln, weil der Waldwert in einem Zeitpunkt berechnet wurde, als der Waldboden holzleer war. In diesem Falle besteht der Wert des Waldes nur aus dem Bodenwert. Nachdem der Wert des Bodens bestimmt wurde, soll die Wertentwicklung des auf diesem Boden stockenden Bestandes hergeleitet werden. Das Ziel besteht also in der Eruierung des ökonomischen Wertes, den ein Bestand in jedem Zeitpunkt des Produktionszeitraumes aufweist.

Vorerst wird lediglich eine Parzelle betrachtet, wo im Zeitpunkt Null ein Bestand begründet wird, der sich während T Jahren entwickelt und durchforstet und gepflegt wird. Am Ende der Produktionszeitraumes wird der dannzumal vorhandene Bestand geschlagen werden. Ein neuer Zyklus beginnt. Die Produktionsperiodenlänge T ist nach wie vor arbiträr, gleichwohl lassen sich die Holzkapitalwerte berechnen. Diese zeigen den Kapitalwert des Bestandes in der betreffenden Verwendungsart.

Der ökonomische Wert (Schattenpreis ( $S(t)$ )) des Bestandes im Alter t, ist nicht mit dem laufenden Wert der Holzmasse gleichzusetzen, sondern dieser Wert spiegelt künftige Kosten und Erträge. So wird dieser Bestand in (T-t) Jahren den Nettoabtriebserlös  $f(T)$  und während (T-t) Jahren Nettodurchforstungserträge liefern. Die Erträge aber lassen sich nur erzielen, wenn der Bestand weitere (T-t) Jahre auf dem Hektar belassen und verwaltet wird. Der Verzicht auf alternative Bodenverwendung bedeutet, während (T-t) Jahren die jährliche Rente (r) aufzugeben. Zudem sind pro Jahr Aufsichts- und Unterhaltskosten der Höhe a zu tragen. Um zum Schattenpreis  $S(t)$  zu gelangen, müssen vom Barwert der Erträge die

Barwerte des Boden- und Managementkostenstroms abgezogen werden (Gleichungen (3.2.17 s und d) (vgl. Herleitung in Abschnitt 2.1 von Anhang A):

$$S(t) = f(T)e^{-i(T-t)} + \int_t^T x(t^*)e^{-i(t^*-t)} dt^* \\ - r \int_t^T e^{-i(t^*-t)} dt^* - a \int_t^T e^{-i(t^*-t)} dt^*$$

(3.2.17s)

$$S(t) = f(T)e^{-i(T-t)} + \int_t^T x(t^*)e^{-i(t^*-t)} dt^* \\ - \frac{r}{i}(1-e^{-i(T-t)}) - \frac{a}{i}(1-e^{-i(T-t)}) \\ S(t) = f(T)(1+i)^{-(T-t)} + \sum_{t^*=t+1}^T x(t^*)(1+i)^{-(t^*-t)} \\ - \frac{r}{i}(1-(1+i)^{-(T-t)}) - \frac{a}{i}(1-(1+i)^{-(T-t)}) .$$

(3.2.17d)

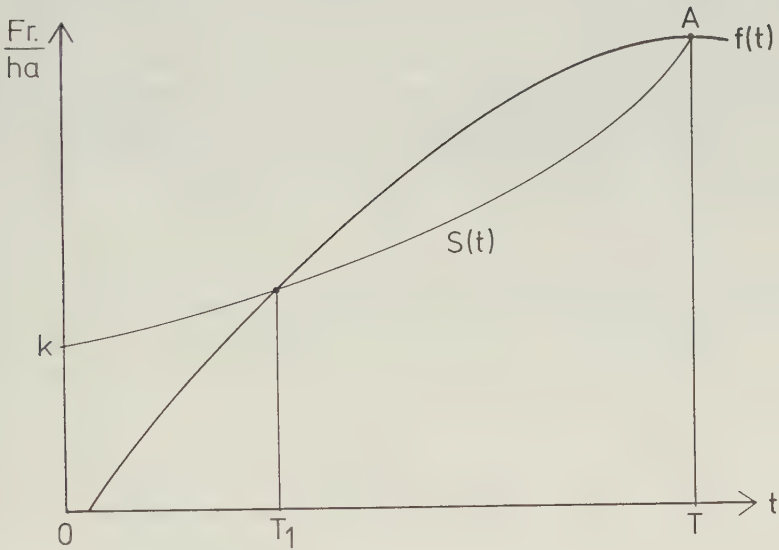
Um die  $S(t)$ -Kurve in die Graphik 3.2.1 einzeichnen zu können, erweisen sich der Anfangs- (für  $t=0$ ) und der Endkapitalwert (für  $t=T$ ) als von besonderem Interesse:

$$S(0) = k \\ (3.2.18) \quad S(T) = f(T) .$$

Die Gleichungen (3.2.18) werden durch Einsetzen der entsprechenden Werte für  $t$  in Gleichung (3.2.17) berechnet. Unmittelbar nach erfolgter Begründung weist der Bestand einen Kapitalwert der Höhe  $k(>0)$  auf, obwohl kein marktfähiges Holz vorhanden ist. Zwei erwähnenswerte Beobachtungen können gemacht werden. Zum einen wird deutlich, dass der Kapitalwert eines Bestandes tatsächlich nicht

dem Marktwert des stehenden Holzes gleichzusetzen ist. Zum andern zeigt es sich, dass im Zeitpunkt Null der Bestandeskapitalwert  $S(0)$  gerade gleich den Inputkosten  $k$  wird. In  $T$ , am Ende der Produktionsperiode, gelangen Kapital- und Marktwert zur betragsmässigen Uebereinstimmung. Graphik 3.2.1 zeigt den Verlauf der Nettomarktwerte des Bestandes ( $f(t)$ ) und deren Schattenpreise ( $S(t)$ ).

**Graphik 3.2.1 Markt- und Kapitalwerte eines Einzelbestandes**



Die eingezeichnete Kurve  $S(t)$  erfüllt die Gleichungen (3.2.17s) und (3.2.18). Die in Graphik 3.2.1 gezeichnete Situation kann, wie dann Kapitel 3 zeigen wird, verbessert werden, indem eine Verkürzung der Produktionsperiodenlänge Zustände eliminiert, wie sie zwischen  $T_1$  und  $T$  herrschen. Werden die Kapitalwerte von den Marktwerten überragt (zwischen  $T_1$  und  $T$  der Fall), so kann der

Bestand finanziell wirkungsvoller eingesetzt werden, als dies ein Stehenlassen erlaubt; das heisst, der Bestand müsste gefällt und die Verkaufserlöse alternativ investiert werden (z.B. teils in die Bestandesneubegründung). Doch von der Optimierung der Produktionsperiodenlänge wird, wie bereits erwähnt, vorerst abgesehen. Dieses Problem wird im dritten Kapitel dieses theoretischen Teiles aufgegriffen und gelöst werden.

Die  $S(t)$ -Kurve besitzt zwei interessante Eigenschaften, die im folgenden kurz erläutert werden sollen. Die eine Eigenheit betrifft die Aenderung der Höhe von  $S(t)$ , wenn der Zinssatz ändert. Bei der zweiten Eigenschaft handelt es sich um die Veränderung der Holzkapitalwertes ( $S(t)$ ) im Zeitablauf (vgl. die Abschnitte 2.2.2 und 2.2.3 von Anhang A).

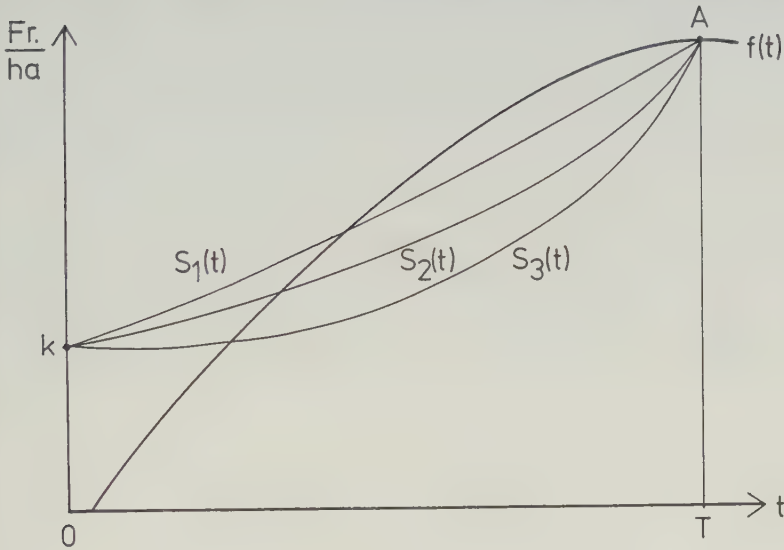
Wie im mathematischen Anhang gezeigt wird, verringert eine Zinserhöhung den Kapitalwert eines Bestandes. Die Ausnahme bilden der Anfangs- sowie der Endkapitalwert, die nicht Funktionen des Zinssatzes sind. Die Gleichungen (3.2.19) haben die Ableitungen nach dem Zinssatz zum Inhalt:

$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{di} < 0 & \quad \text{für } 0 < t < T \\ (3.2.19) \quad \frac{dS(t)}{di} = 0 & \quad \text{für } t = 0 \text{ und } t = T. \end{aligned}$$

Die Implikation der Gleichungen (3.2.19) besteht darin, dass die  $S(t)$ -Kurve unabhängig von der Höhe des Zinssatzes durch den gleichen Anfangs- und Endpunkt verläuft, wie diese in den Gleichungen (3.2.18) festgehalten wurden. Zwischen diesen Punkten aber sinken die Holzkapitalwerte, wenn die Zinssätze steigen. Die Graphik 3.2.2 veranschaulicht die Erörterungen bildhaft.

In die Graphik 3.2.2 wurden drei Kapitalwertkurven für drei verschiedene Zinssätze eingezeichnet, die den in den Gleichungen (3.2.17), (3.2.18) und (3.2.19) geforderten Bedingungen genügen. Die  $S_1(t)$ -Kurve zeigt einen möglichen Kapitalwertverlauf für den geringsten der drei Zinssätze. Mit steigendem Zinssatz verläuft die Kapitalwertkurve tiefer und erscheint als stärker gebogen zwischen den "Fixpunkten"  $k$  und  $A$ . Der  $S_3(t)$ -Linie liegt demnach der höchste der drei Zinssätze zugrunde.

Graphik 3.2.2 Kapitalwerte bei unterschiedlichen Zinssätzen



Schliesslich erweist sich auch die Steigung der Kapitalwertkurve eines Einzelbestandes der kurzen Erwähnung als gerechtfertigt. Auch diese Herleitung entnehme man dem mathematischen Anhang. Die Gleichungen (3.2.20) halten das Ergebnis des Differentiationsprozesses fest:

$$(3.2.20) \quad \frac{dS(t)}{dt} = a + r - x(t) + i \cdot S(t)$$

$$\frac{\frac{dS(t)}{dt} + x(t) - r - a}{S(t)} = i .$$

Die Steigung der  $S(t)$ -Kurve, die Veränderung des Kapitalwertes eines Bestandes im Zeitablauf, wird gleich den Kosten den Bestand eine Periode stehen zu lassen ( $i \cdot S(t)$ ), den Boden nicht anderweitig nutzen zu können ( $r$ ) und den Bestand zu "managen" ( $a$ ), abzüglich des in dieser Periode anfallenden Durchforstungsertrages ( $x(t)$ ). Die zweite der Gleichungen (3.2.20) besagt, dass der

Kapitalwertzuwachs zuzüglich der Durchforstungsertrag und abzüglich die Boden- und Managementkosten relativ zum ursprünglichen Bestandeskapitalwert gerade gleich dem Zinssatz wird. Man beachte, dass in die Konstruktion der  $S(t)$ -Linie nebst dem Endwert ( $f(T)$ ) auch Durchforstungen, Bodenrenten und Managementkosten einfließen. Entgegen der üblichen Intuition, die von der Kenntnis einfacher Isobarwertkurven herstammt, wird die relative Kapitalwertänderung erst nach der Korrektur mit  $x(t)$ ,  $a$  und  $r$  dem Zinssatz gleich.

Der Wert des Waldes besteht bekanntlich (vgl. Gleichung (3.2.14a)) aus dem Wert des Bodens und dem Wert des Bestandes unabhängig davon, ob die Bestände altersdurchmischt sind. Gleichung (3.2.14b) zeigt den Wert eines Waldes, der sich aus Boden einer Parzelle und einem Bestand gleichaltriger Bäume zusammensetzt:

$$(3.2.14b) \quad W(t) = B + S(t) .$$

Der Unterschied obiger Gleichung zu Gleichung (3.2.14a) besteht lediglich darin, dass in (3.2.14a) ein synchronisierter Wald der Fläche  $T$  und nicht bloss der  $T$ -te Teil dessen, der im Alter  $t$  steht, wertmässig erfasst wurde. Die Waldwertveränderung im Zeitablauf ist in den Gleichungen (3.2.21) aufgeführt, deren Herleitung dem mathematischen Anhang entnommen werden kann:

$$(3.2.21) \quad \frac{dW(t)}{dt} = a - x(t) + i \cdot W(t)$$

$$\frac{\frac{dW(t)}{dt} + x(t) - a}{W(t)} = i .$$

Der Wertzuwachs eines Waldes während einer Periode stellt sich auf die gleiche Höhe, wie die Kosten, den Wald zu beaufsichtigen und zu verwalten ( $a$ ) plus den Opportunitätskosten des stehenden Waldes ( $i \cdot W(t)$ ), abzüglich des Durchforstungsertrages ( $x(t)$ ). Oder anders ausgedrückt, wie in der zweiten Gleichung von (3.2.21), entspricht die Waldwertveränderung plus der Durchforstungsertrag minus die Managementkosten, in Relation zum Waldwert gesetzt, dem Zinssatz  $i$ . Die Rendite des in Wald investierten Kapitals ist von gleicher Höhe wie die Marktrendite anderer Kapitalinvestierungen. Man

beachte, dass diese Beziehungen unabhängig vom jeweiligen T Gültigkeit besitzen. Werden suboptimale Produktionsperiodenlängen angewandt, so stellt sich der Bodenwert wie auch der Holzkapitalwert auf eine Höhe, die die Erfüllung der Gleichungen (3.2.21) zulässt.

## 2.6 Der Holzkapitalwert im synchronisierten Wald

In Abschnitt 2.4 erlaubte die Analyse einer holzleeren Parzelle Wald, den Wert des Bodens zu bestimmen. Danach war es im vorstehenden Abschnitt möglich, den Kapitalwert eines Einzelbestandes, bestehend aus gleichaltrigen Bäumen, für jedes Alter zwischen Begründung und Abtrieb im T-ten Jahre festzulegen. Auch diese Wertbestimmung bezog sich auf die einer Parzelle entsprechenden Fläche. Damit sind die Instrumente geschaffen, den Holzkapitalwert im synchronisierten Wald zu ermitteln.

Im synchronisierten Wald sind alle Altersstufen flächenmässig gleich stark vertreten, folglich besteht ein Wald von T Hektaren Fläche und angewandter Produktionsperiodenlänge von T Jahren, die nach wie vor nicht optimal zu sein braucht, aus allen Altersklassen mit je einer Hektare Ausdehnung. Die Parzellenfläche ist in diesem Falle einer Hektare gleich. Die Summe (besser: Integral) all dieser "Einzelkapitalwerte"  $S(t)$  ergibt den Holzkapitalbestand im synchronisierten Wald, der sich über T Parzellen bzw. T Hektaren erstreckt. Die Gleichung (3.2.22a) zeigt, dass das Ganze ( $H(T)$ ) lediglich die Summe der Einzelteile ( $S(t)$  für  $0 \leq t \leq T$ ) darstellt. Abschnitt 2.3 von Anhang A ergänzt die nachfolgenden Erörterungen. Es gilt:

$$\begin{aligned}
 (3.2.22a) \quad H(T) &= \int_0^T S(t) dt \\
 &= \int_0^T f(T) e^{-i(T-t)} dt + \int_0^T \int_t^T x(t^*) e^{-i(t^*-t)} dt^* dt \\
 &\quad - \frac{r}{i} \int_0^T (1 - e^{-i(T-t)}) dt - \frac{a}{i} \int_0^T (1 - e^{-i(T-t)}) dt.
 \end{aligned}$$

Mit Ausnahme des doppelten Integrals im Durchforstungsteil können die Terme direkt ausgerechnet werden. Statt, wie dies das doppelte

Integral beim Durchforstungsteil impliziert, zuerst für eine Teilfläche die verbleibenden Durchforstungen aufzuaddieren und dann die Summen der Teilflächen zu summieren, addiert man die verschiedenen zeitlichen Durchführungen eines bestimmten Durchforstungseingriffes, verteilt über mehrere Teilflächen, und summiert schliesslich noch diese verschieden stark gewichteten Durchforstungseingriffe. Die Gleichung (3.2.22b) hält die Umformung des doppelten Integrals aus Gleichung (3.2.22a) fest:

$$(3.2.22b) \quad \int_0^T \int_0^T x(t^*) e^{-i(t^*-t)} dt^* dt = \int_0^T x(t) \int_0^t e^{-i(t-t^*)} dt^* dt .$$

Der rechte Teil von Gleichung (3.2.22b) lässt sich jetzt unmittelbar lösen. Die Gleichung (3.2.22a) wird zu (3.2.23s und d), wobei für eine ausführlichere Herleitung dieser und anderer Formeln dieses Abschnitts wiederum auf den mathematischen Anhang zu verweisen ist:

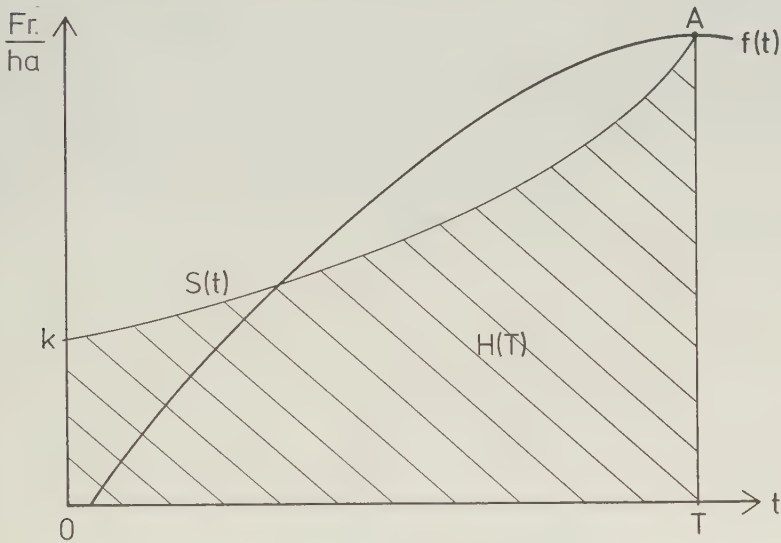
$$(3.2.23s) \quad H(T) = \frac{1}{i} f(T) (1 - e^{-iT}) + \frac{1}{i} X(T) - \frac{1}{i} \int_0^T x(t) e^{-it} dt \\ - \frac{r}{i} T + \frac{r}{i} \cdot \frac{1}{i} (1 - e^{-iT}) - \frac{a}{i} T + \frac{a}{i} \cdot \frac{1}{i} (1 - e^{-iT})$$

$$(3.2.23d) \quad H(T) = \frac{1}{i} f(T) (1 - (1+i)^{-T}) + \frac{1}{i} X(T) - \frac{1}{i} \sum_{t=1}^T x(t) (1+i)^{-t} \\ - \frac{r}{i} T + \frac{r}{i} \cdot \frac{1}{i} (1 - (1+i)^{-T}) - \frac{a}{i} T + \frac{a}{i} \cdot \frac{1}{i} (1 - (1+i)^{-T}) .$$

Die Formel des Holzkapitalwertes im synchronisierten Wald ( $H(T)$ ) setzt sich ähnlich der Formel des Holzkapitalwertes eines Einzelbestandes ( $S(t)$ ) (vgl. Gleichungen (3.2.17s und d)) aus den Grössen  $f(T)$  (Abtriebserlös),  $X(T)$  (Durchforstungserlös aus allen  $T$  Parzellen),  $x(t)$  (Durchforstungserlös einer Parzelle im Alter  $t$ ),  $r$  (Bodenrente) und  $a$  (Managementkosten) zusammen. Der Holz-

kapitalwert eines Einzelbestandes ( $S(t)$ ) konnte in der Graphik 3.2.1 als "Säule" zwischen der Abszisse und der  $S(t)$ -Kurve dargestellt werden. Im synchronisierten Wald besteht der Holzkapitalwert ( $H(T)$ ) aus der Summe aller Holzkapitalwerte der Einzelbestände. Die Aneinanderreihung aller "Säulen", die die Kapitalwerte der Einzelbestände repräsentieren, ergibt graphisch eine Fläche, die den Holzkapitalwert im synchronisierten Wald umfasst. Die schraffierte Fläche in Graphik 3.2.3. entspricht dem in den Gleichungen (3.2.23 s und d) hergeleiteten Kapitalwert  $H(T)$ .

**Graphik 3.2.3 Der Holzkapitalwert im synchronisierten Wald**



Die Abszisse repräsentiert sowohl die zeitliche wie die räumliche Dimension.  $f(t)$  entspricht dem Marktwert der Holzmasse eines Waldes im  $t$ -ten Altersjahr und gleichzeitig der Holzmasse, die auf dem  $t$ -ten Bodenteil stockt. Gleiches trifft auf die  $S(t)$ -Kurve der Kapitalwerte zu. Da der Holzkapitalstock des Gesamtwaldes als Integral der Einzelbestandeskapitalwerte aufzufassen ist, folgt, dass die Fläche  $OkAT$  der Kapitalgrösse  $H(T)$  entspricht, wie es bereits dargelegt wurde.

Durch Integrieren der  $f(t)$ -Kurve erhält man den Marktwert des Holzvorrats im synchronisierten Wald. Dieser kann demnach als Fläche unter der  $f(t)$ -Kurve zwischen dem Anfangswert (0) und dem Endwert (T) graphisch visualisiert werden.

Die Richtigkeit, den Holzkapitalwert eines Einzelbestandes und des synchronisierten Waldes in der Art zu konstruieren und graphisch darzustellen, wie dies bisher erfolgte, wird ersichtlich, wenn weitere formelmässige Vereinfachungen vorgenommen werden. Die Ersetzung der Rentenvariable  $r$  in den Gleichungen (3.2.23 s und d) durch deren Bestimmungsgrössen, wie dies die Gleichungen (3.2.16 s und d) zeigen, vereinfacht die Formel für den Holzkapitalwert beträchtlich:

$$(3.2.24s) \quad H(T) = \frac{f(T) + X(T) - k - a \cdot T}{i}$$

$$= \left\{ \frac{f(T)e^{-iT} + \int_0^T x(t)e^{-it}dt - k}{1 - e^{-iT}} - \frac{a}{i} \right\} \cdot T$$

$$(3.2.24d) \quad H(T) = \frac{f(T) + X(T) - k - a \cdot T}{i}$$

$$= \left\{ \frac{f(T)(1+i)^{-T} + \sum_{t=1}^T x(t)(1+i)^{-t} - k}{1 - (1+i)^{-T}} - \frac{a}{i} \right\} \cdot T$$

Die Komplexität der  $H(T)$ -Formel ist in den Gleichungen (3.2.24 s und d) relativ zu (3.2.23 s und d) bereits deutlich geringer. Unter Bezugnahme auf die Gleichungen (3.2.14) und (3.2.15 s und d) wird ersichtlich, dass sich der Kapitalwert des Holzbestandes ( $H(T)$ ) direkt als Differenz von Wald- zu Bodenwert darstellen lässt.<sup>4)</sup>

$$(3.2.25) \quad H(T) = W - B \cdot T$$

Das aufwendige Berechnungsprozedere hat bestätigt was in Gleichung (3.2.14a) postuliert wurde. Unter der Voraussetzung, dass die Kapitalauffassung, wie sie dieser Arbeit zugrunde liegt, korrekt ist, erweist sich der Wert des Waldes als aus den Teilen Boden- und Holzkapitalwert bestehend. Das Räsonnement gewinnt an Stärke, wenn die Argumentationsrichtung umgekehrt wird. Bis Gleichung (3.2.14a) wurde überzeugend dargelegt, dass der Waldwert aus der Summe von Boden- und Holzkapitalwert gebildet wird. Die Gleichung (3.2.25) bestätigt demnach die Korrektheit der verwandten Kapitalvorstellungen und die Richtigkeit der durchgeführten Berechnungen.

Im folgenden Kapitel, wo die Optimierung der Produktionsperiodenlänge und die volkswirtschaftlichen Gewinne bei Anwendung optimaler Periodenlängen relativ zu suboptimalen Analysegegenstand sein werden, wird ausgiebig von der in diesem zweiten Kapitel des theoretischen Teiles entwickelten mathematischen und graphischen Darstellungsweise Gebrauch gemacht werden.

### 3. Volkswirtschaftliche Gewinne durch Optimierung der Kapitalintensität der Holzproduktion

#### **3.1. Der Bodenwert als Optimalitätskriterium - Die Optimierung**

Im vorhergehenden Kapitel wurden für eine arbiträr gegebene Produktionsperiodenlänge  $T$  die Bodenwerte und Holzkapitalwerte entwickelt, die im folgenden auf ihre Eignung als Optimalitätskriterium geprüft werden sollen. Ausser der Produktionsperiodenlänge  $T$  sind, die Konstruktion der Modellteile im zweiten Kapitel dieses dritten Teiles erfolgten unter diesen Annahmen, die restlichen Grössen vorausbestimmt. Das heisst, die Vorratsentwicklung eines Bestandes ( $f(t)$ ) und die Durchforstungseingriffe im Zeitablauf ( $x(t)$ ) unterliegen nicht einem Optimierungsprozedere, sondern werden als Gegebenheiten technischer oder biologischer Natur ins Modell fix integriert. So gelten auch die Bestandesbegründungsinputs und die Managementaktivitäten als technische oder ökonomische Daten. Man stelle sich vor, die Begründungskosten ( $k$ ) und die Aufsichts- und Unterhaltskosten (Managementkosten  $a$ ) seien ihrerseits im Rahmen produktionstechnischer Limitierungen auf ihr betragsmässiges Minimum reduziert, welches gerade noch die analysierte Holzproduktion (Zuwachs plus Durchforstung) erlaubt.

Die Wertoptimierung geschieht demnach einzig über die Wahl der Produktionsperiodenlänge. Bei Bewirtschaftung gleichaltriger Bestände (bei aussetzendem Betrieb also) führt die Maximierung des Bodenwertes zu einer korrekten Bestimmung der Produktionsperiodenlänge. Der Bodenwert ist lediglich die Barwertsumme aller künftigen Nettoeinnahmen, wenn man von einer "unendlichen" Wiederholung der Produktionszyklen ausgeht. Das Optimierungsproblem liegt in der Festlegung der Länge des Produktionszyklus, die den Bodenwert maximiert. Werden synchronisierte Wälder bewirtschaftet (nachhaltiger Betrieb), so ist man versucht, im Waldwert bzw. dem jährlichen Nettoerlös (definiert nach Gleichung (3.2.10)) die zu maximierende Variable zu identifizieren. Ein Ansatz, der bei oberflächlicher Betrachtung vernünftig erscheint, aber in Tat und Wahrheit nur bei Zinssätzen von Null Prozent vertreten werden kann. Die Maximierung des Wertes eines synchronisierten Waldes hat Produktionsperiodenlängen zur Folge, die die Länge bei Bodenwert-

maximierung übertreffen und damit eine zu kapitalintensive Holzproduktion nach sich ziehen.

Boden- und Kapitalwerte gleichaltriger Bestände sind Gegenstand des folgenden Unterabschnittes 3.1.1. Weiter wird vorerst vorausgesetzt werden, dass die Bodenwertoptimierung auch im synchronisierten Wald zu dem wirtschaftlich rationalsten Ergebnis führt (Abschnitt 3.1.2). Völlig einsichtig wird diese Behauptung erst dann, wenn im Abschnitt 3.2 der volkswirtschaftliche Gewinn, der bei der Optimierung der Produktionsperiodenlänge entsteht, untersucht wird.

### 3.1.1. Der optimale Bodenwert

Wie bereits erwähnt, verkörpert der Wert des Bodens die Barwertsumme künftiger Einnahmen. Die Bodenwertmaximierung ist demnach nichts weiter, als den Gegenwartswert aller Nettozahlungen der Zukunft möglichst gross werden zu lassen. Gleichzeitig werden die Holzkapitalwerte von Einzelbeständen ( $S(t)$ ) während der Dauer der Produktionsperiode ( $T$ ) maximiert. Das heisst, es kann keine andere Produktionsdauer gefunden werden, die einen höheren Bestandeskapitalwert in  $t$  ( $<T$ ) erzeugt. Folglich führt die Bodenwertmaximierung zum Maximum der Bestandeskapitalwerte, somit erreicht der Wert des Waldes, der aus einer mit gleichaltrigen Bäumen bestandenen Parzelle Boden besteht, ein Maximum.

Das Optimierungsproblem wurde in Gleichung (3.3.1) mathematisch dargestellt:

$$(3.3.1) \quad \max_T B = \frac{f(T)e^{-iT-k}}{1-e^{-iT}} + \frac{\int_0^T x(t)e^{-it}dt}{1-e^{-iT}} - \frac{a}{i}.$$

Die Aufgabe besteht in der Wahl derjenigen Produktionsperiodenlänge  $T$ , die einen maximalen Bodenwert ermöglicht. Dies ist erreicht, wenn die Bedingungen der Gleichungen (3.3.2) erfüllt sind, die gleiches in unterschiedlich explizitem Mass aussagen:

$$(3.3.2) \quad \begin{aligned} \frac{dB}{dT} &= 0 \\ f'(T) + x(T) &= i \cdot f(T) + r + a. \end{aligned}$$

Die Bedingung erster Ordnung für das Bodenwertmaximum, deren Herleitung dem mathematischen Anhang (Abschnitte 1.2 und 1.3, der die komparative Statik enthält) zu entnehmen ist, besagt, dass der Grenzertrag, bestehend aus dem Vorratzzuwachs ( $f'(T)$ ) und dem Durchforstungsertrag ( $x(T)$ ), der durch die Verschiebung der Ernte um eine Periode entsteht, im Optimum den Grenzkosten entsprechen muss. Die Opportunitätskosten des Bestandes ( $i \cdot f(T)$ ) und des Bodens ( $r$ ) und die Managementkosten ( $a$ ) bilden die Grenzkosten einer Ernteverchiebung um eine Periode. Es erstaunt, die Managementkosten ( $a$ ), die alljährlich in gleicher Höhe anfallen und folglich die Wahl der Länge des Produktionszyklus nicht beeinflussen sollten, als Bestandteil der Optimalitätsbedingung wahrzunehmen. Tatsächlich beeinflussen die Managementkosten ( $a$ ) das optimale  $T$  nicht. Aus den Gleichungen (3.2.16 s und d) folgt, dass von den annuitätisch wiedergegebenen zyklischen Kosten und Erträgen die Managementkosten ( $a$ ), die konstruktionsgemäss als Annuität Eingang ins Modell fanden, zuzubtrahieren sind, um die Bodenrente zu erhalten. In Gleichung (3.3.2) werden diese Kosten wieder zur Bodenrente addiert, weshalb ein Einfluss der Managementkosten ( $a$ ) auf die optimale Produktionsperiodendauer entfällt. Somit wirken weder die Höhe noch die Änderung der Höhe dieser Kosten auf die bodenwertmaximierende Länge der Produktionsperiode.

### 3.1.2. Der optimale Holzkapitalwert eines Einzelbestandes

Die optimalen Holzkapitalwerte eines Einzelbestandes errechnen sich entsprechend den Gleichungen (3.2.17 s und d), wenn die durch die Bodenwertmaximierung gewonnen Grössen eingesetzt werden. Konkret handelt es sich um das optimale  $T$  (Produktionsperiodenlänge, Umtriebszeit) und das optimale  $r$  (Bodenrente). Statt wie in diesen Gleichungen getan, den Holzkapitalwert ( $S(t)$ ) als Gegenwartswert künftiger Erträge und Kosten aufzufassen, setzen wir diesen mit der Summe aller aufgelaufenen und aufdiskontierten Kosten und Erträge gleich. Der mathematische Anhang enthält den Nachweis, dass die Darstellungweise der Gleichung (3.3.3) die gleichen Holzkapitalwerte wie die Gleichung (3.2.17s) impliziert:

$$(3.3.3) \quad S(t) = ke^{it} + r \int_0^t e^{i(t-t^*)} dt^* + a \int_0^t e^{i(t-t^*)} dt^* \\ - \int_0^t x(t^*) e^{i(t-t^*)} dt^* .$$

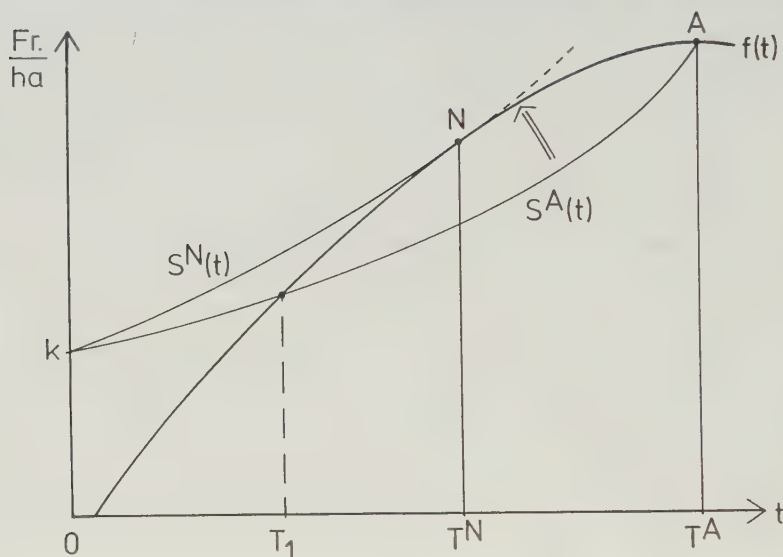
Ausser der Bodenrente ( $r$ ) gehen die übrigen Variablen mit vorausbestimmten Werten in die Berechnung des Holzkapitalwertes ein. Folglich bewirkt die Bodenwertmaximierung gleichzeitig höchste Holzkapitalwerte von Einzelbeständen.

Gleichung (3.2.18) bestimmt den Anfangs- und Endpunkt ( $k$  und  $f(T)$ ) der Kapitalwertkurve  $S(t)$ . Das Optimierungsproblem besteht somit darin, diejenige  $S(t)$ -Kurve zu suchen, die durch den Punkt  $k$  läuft und für alle  $t$  (kleiner als das zu bestimmende  $T$ ) einen maximalen Bestandeskapitalwert bewirkt. In Graphik 3.3.1 wird deutlich, dass die optimale  $S(t)$ -Kurve in  $k$  soweit gedreht wurde, bis sie gerade noch die  $f(t)$ -Kurve tangential berührt.

Die Graphik veranschaulicht eine Optimalitätsbedingung, die bereits von Faustmann erkannt wurde. Während der gesamten Produktionsperiode der Länge  $T$  übersteigen die Kapitalwerte die Holzmassewerte. Lediglich am Ende der Periode fallen die beiden Werte zusammen. Die Graphik 3.3.1 enthält als Ausgangssituation eine Holzkapitalkurve ( $S^A(t)$ ), die diese Optimalitätsbedingung verletzt. Zwischen  $T_1$  und  $T^A$  übersteigen die Marktwerte der Holzmasse deren Kapitalwert. Eine Verkürzung der Periodenlänge dreht die  $S^A(t)$ -Kurve in  $k$  zu höheren Kapitalwerten bis das Optimum erreicht wird. Die optimale Produktionslänge ( $T^N$ ) liegt zwischen dem ursprünglichen  $T^A$  und  $T_1$ .

Die  $S^A(t)$ -Kurve repräsentiert die Holzkapitalwerte eines Einzelbestandes, die aufgrund der suboptimalen Produktionsperiodenlänge ( $T^A$ ) gelten. Die optimalen Werte ( $S^N(t)$  und  $T^N$ ) finden sich, wenn die  $S^A(t)$ -Kurve im Punkt  $k$ , der wie ein Scharnier wirkt, gedreht wird. Die höchsten Holzkapitalwerte ( $S^N(t)$ ) und die optimale Produktionsperiodenlänge sind dann gefunden, wenn die Holzkapitalwertkurve tangential auf die Wachstumsfunktion des Vorrats ( $f(t)$ ) trifft.

Graphik 3.3.1 Optimierung der Holzkapitalwerte von Einzelbeständen



Mittels der in Gleichung (3.2.17s) hergeleiteten Holzkapitalwertkurve und der Gleichung (3.3.2), die die Bedingung erster Ordnung der Bodenwertoptimierung enthält, kann gezeigt werden, dass die Kurve optimaler Holzkapitalwerte am Ende der Produktionsperiode an die Wachstumskurve ( $f(t)$ ) tangential verläuft:<sup>5)</sup>

$$(3.3.4) \quad \left. \frac{dS^N(t)}{dt} \right|_{t=T^N} = f'(T^N) \equiv \left. \frac{df(t)}{dt} \right|_{t=T^N}.$$

Im mathematischen Anhang (Abschnitt 2.2.4) ist die detaillierte Herleitung der Gleichung (3.3.4) zu finden.

### 3.1.3. Der optimale Boden- und Holzkapitalwert im synchronisierten Wald

Die vorstehenden Unterabschnitte haben gezeigt, wie die Optimierung in Parzellen, die mit Beständen einheitlichen Alters bestockt sind, durchzuführen ist. Die bodenwertmaximierende Produktionsperiodenlänge maximiert gleichzeitig den Holzkapitalwert des Ein-

zelbestandes. Die selbe optimale Länge der Umtriebsperiode optimiert den Kapitalwert eines synchronisierten Waldes. Ein solcher Wald setzt sich aus der gleichen Anzahl Parzellen zusammen wie die Produktionsperiode Jahre zählt. Auf jeder Parzelle stockt ein gleichaltriger Bestand und diese weisen alle unterschiedliche Jahrgänge auf, wobei der jüngste Bestand gerade begründet wurde und der älteste genau das der Produktionsperiode entsprechende Alter aufweist. Man beachte wiederum, dass diese Gliederung des synchronisierten Waldes in Einzelparzellen lediglich als gedankliche Aufteilung zu verstehen ist, der kein räumliches Äquivalent gegenüberzustehen braucht. Das heisst, in räumlicher Perspektive erscheinen die Altersklassen nicht mehr oder minder scharf getrennt sondern durchmischt.

Der synchronisierte Wald ist konstruktionsgemäss bloss eine Summe von einparzelligen sich in allen Entwicklungsstadien befindenden Wäldern mit Beständen, die sich aus gleichaltrigen Bäumen zusammensetzen. Somit behalten die für Einzelbestände gefundenen Ergebnisse, es sind die optimale Produktionsperiodenlänge, der optimale Bodenwert und die optimalen Holzkapitalwerte von Einzelbeständen gemeint, auch für den synchronisierten Wald Gültigkeit.

Der Holzkapitalwert im synchronisierten Wald ( $H(T^N)$ ) bestehend aus  $T^N$  Parzellen, wo eine Produktionsperiodenlänge von  $T^N$  Jahren angewendet wird, bemisst sich demnach als Fläche unter der  $S^N(t)$ -Kurve (man vergleiche dazu Graphik 3.3.1).  $H(T^N)$  ist folglich der optimale Holzkapitalwert des gesamten durchmischten Bestandes, der auf Boden optimalen Wertes stockt. Somit erlangt der Kapitalwert des Waldes eine optimale Höhe. Bedeutet dies, dass der Wert des synchronisierten Waldes maximiert wurde? Die Optimierung des Bodenwertes optimiert einen adäquat definierten Einkommensstrom und zwar das Einkommen, das nach der Bestandesverzinsung verbleibt. Die Gleichungen (3.2.11) und (3.2.12) definieren diese Grösse, die den Bodenrenten des gesamten synchronisierten Waldes gleichzusetzen ist. Wird dagegen ein Zahlungsstrom maximiert, wie ihn die Gleichung (3.2.10) zeigt, und der alle Erlöse und Kosten ausser den Boden- und Bestandesopportunitätskosten umfasst, so erlangt der synchronisierte Wald ein Wertmaximum. Da jedoch nicht explizit der Bodenwert optimiert wurde, ist dieser suboptimal. Der

Wert des Waldes steigt, weil eine Verlängerung der Produktionsperiode über die den Bodenwert optimierende Länge hinaus den pro Teil suboptimalen Holzkapitalwert des synchronisierten Bestandes stärker erhöht, als der Bodenwert sinkt. Die Kapitalwerte stehen also in suboptimaler Relation zueinander. Der überkapitalisierte synchronisierte Bestand belegt Boden zu geringen Kapitalwerts. Gesamthaft ist der synchronisierte Wald überkapitalisiert; dies widerspiegelt sich in einem erhöhten Strom jährlicher Zahlungen.

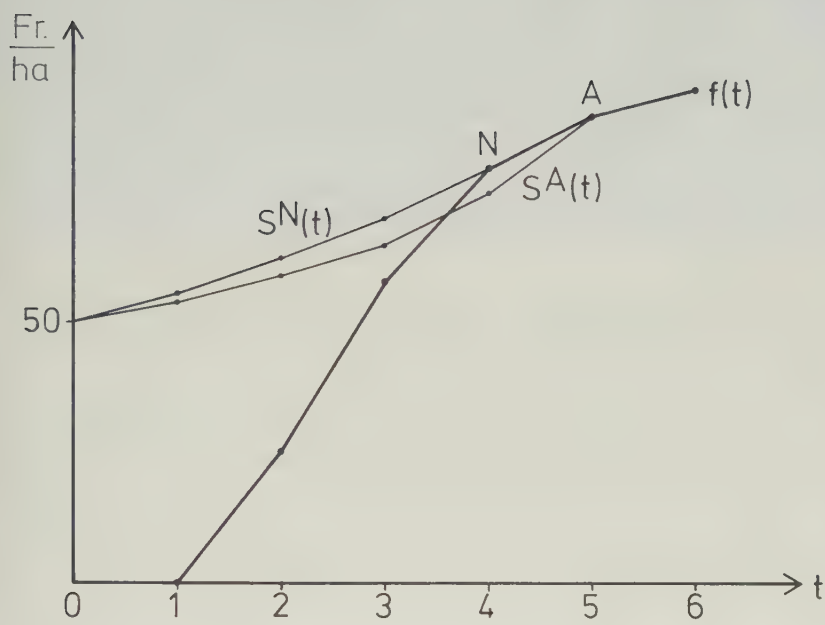
Die Tabelle 3.3.1 und deren bildliche Darstellung in Graphik 3.3.2 illustriert mittels eines Beispiels dieses Phänomen:

**Tabelle 3.3.1 Beispiel zum Wert des synchronisierten Waldes**

| t | f(t) | $S^A(t) \Big _{T=5}$ | $S^N(t) \Big _{T=4}$ |
|---|------|----------------------|----------------------|
| 0 | 0    | 50                   | 50                   |
| 1 | 0    | 54                   | 55                   |
| 2 | 25   | 59                   | 62                   |
| 3 | 58   | 65                   | 70                   |
| 4 | 80   | 75                   | 80                   |
| 5 | 90   | 90                   | -                    |
| 6 | 95   | -                    | -                    |

Das Beispiel in Tabelle 3.3.1, das keiner bestehenden Situation entnommen wurde, sondern rein illustrativen Zwecken zu dienen hat, verzichtet auf den Einbezug von Durchforstungserträgen (bisher mit  $x(t)$  bezeichnet) und Managementkosten (bisher a). Die Inputkosten k wurden mit 50 (Fr. oder tausend Fr. je ha) angenommen.  $f(t)$  repräsentiere den Marktwert des Bestandes in Periode t.  $S^A(t) \Big|_{T=5}$  und  $S^N(t) \Big|_{T=4}$  stehen für die Kapitalwerte der Bestände in Periode t, wenn Produktionsperiodenlängen von 5 bzw. 4 (Jahre oder Dekaden) angewandt werden.

Graphik 3.3.2 Beispiel zum Wert des synchronisierten Waldes



Für die Umtriebszeit von vier Perioden erfüllen die Kapitalwerte ( $S^N(t)$ ) alle Bedingungen (verlaufen durch  $k=50$  und  $f(4)=80$  und sind jeweils grösser als die Marktwerte), es handle sich somit um das Optimum. In einem synchronisierten Wald der Fläche 4 wird pro Jahr ein Ernteerlös von 80 erzielt bei zu tragenden Kosten von 50. Pro Flächeneinheit und Jahr entsteht demnach eine Waldrente (d.h. Summe aus Bodenrente und Holzkapitalverzinsung) von 7.5. Eine Produktionsperiodenlänge von 5 erfüllt nicht alle Bedingungen eines Optimums  $S^A(4) \Big|_{T=5} < f(4)$  und kann folglich keines sein. Jedoch wirft ein synchronisierter Wald bestehend aus fünf Flächeneinheiten einen Gewinn von 8.0 pro Periode und Flächeneinheit ab. Legt man den Berechnungen einen Zinssatz von 5% zugrunde, wie es zur Ermittlung der  $S^A(t)$ - und  $S^N(t)$ -Kurve bereits geschah, so erweist sich der Wert des optimierten synchronisierten Waldes mit 150 pro Flächeneinheit und im nicht optimierten, die Produktions-

periode von 5 Zeiteinheiten verwendenden, synchronisierten Wald gar mit 160 pro Flächeneinheit.

Im nächsten Abschnitt wird gezeigt werden, worin der Trugschluss besteht, eine Produktionsperiodenlänge von 5 sei vorteilhafter als eine von 4. Es wird erläutert werden, dass die Kosten der Kapitalakkumulation, um von 4 auf 5 zu gelangen, den Mehrertrag übersteigen. Der volkswirtschaftliche Gewinn, wie die Verbesserung nachfolgend genannt werden wird, entsteht aus der Ueberführung zu tiefer oder zu hoher Kapitalbestände in das wirtschaftlich vorteilhafteste Mass.

### **3.2. Der volkswirtschaftliche Gewinn und dessen Teile bei Optimierung des Kapitalbestandes**

Dass maximale Werte synchronisierter Wälder nicht dem Optimalzustand gleichzusetzen sind, war die Behauptung in Abschnitt 3.1.3. Die optimale Länge der Produktionsperiode bei Bewirtschaftung gleichaltriger Einzelbestände ist auch im synchronisierten Wald optimal. Die Bodenwerte werden ihre maximale Höhe erreicht haben. Der Holzkapitalwert aber, der einzelbestandlich maximiert wurde, wird im synchronisierten Wald nicht maximal, sondern stellt sich wertmässig in eine Relation zum Bodenwert, dass letzterer seinen maximalen Wert erreicht.

Durch Abbau des Kapitalbestandes überkapitalisierter synchronisierter Wälder, was durch eine Verkürzung der Produktionsperiodenlänge zu erreichen ist, entsteht ein Gewinn, eben dieses unnötigerweise in der Holzproduktion steckende Kapital, der nachfolgend volkswirtschaftlicher Gewinn benannt wird. Für unterkapitalisierte synchronisierte Wälder gilt das Umgekehrte. Durch zusätzliche Kapitalinvestitionen lässt sich der Ertrag des bereits vorhandenen Kapitalbestandes steigern, wiederum entsteht eine volkswirtschaftliche Verbesserung. In beiden skizzierten Fällen setzt sich dieser Gewinn aus den zwei Komponenten Bodenwertsteigerung und adäquat bewerteter Holzkapitalveränderung zusammen.

In einem ersten Schritt wird der Gewinn zu ermitteln versucht, der bei einer Verkürzung der Länge der Produktionsperiode anfällt, sofern die Bewegung ins Optimum führt. Der erste der nachfolgenden Unterabschnitte behandelt die Korrekturmassnahme und deren Profi-

tabilität bei überkapitalisierter Holzproduktion. Der zweite Schritt wird darin bestehen zu zeigen, dass eine Erhöhung der Produktionsdauer auf die optimale Länge gleichfalls eine aus Bodenwert- und Holzkapitalwertgewinn bestehende volkswirtschaftliche Verbesserung zur Folge hat. Der übernächste Unterabschnitt ist folglich der gewinnträchtigen Korrektur der Bewirtschaftung unterkapitalisierter synchronisierter Wälder zugeordnet. Da jeweils die Bewegungen ins Optimum, das mittels maximaler Bodenwerte spezifiziert wurde, volkswirtschaftliche Verbesserungen ermöglichen, ist die vorteilhafteste Bewirtschaftung synchronisierter Wälder gefunden.

### 3.2.1. Verkürzung der Produktionsperiode ins Optimum

In diesem ersten Experiment, das eine Verkürzung zu langer Produktionsperioden zum Inhalt hat, stehe auf einer Gesamtfläche von  $T^A$  Parzellen (z.B. Hektaren) ein synchronisierter Wald, der mit dieser suboptimalen Produktionsperiodenlänge von  $T^A$  Jahren bewirtschaftet wird. Die Variable  $T^A$  bezeichnet sowohl die Fläche ( $T^A$  Parzellen) als auch eine zeitliche Dimension ( $T^A$  Jahre). Dieser Wald wird auf die vom optimalen Bodenwert geforderte Produktionsperiode von  $T^N$  Jahren ( $T^N < T^A$ ) umgestellt. Die Umstellung als solche sei kostenlos im Sinne, dass die Holzpreise auf Mehr- oder Mindermengen nicht reagieren (z.B. ein kleiner unbedeutender Wald werde umgestellt) und dass die Umstellung selbst keine Zeit erfordere. In der ursprünglichen Bewirtschaftungsart ( $T^A$ ) besitzt der Wald einen Wert ( $W^A$ ) von:

$$(3.3.5) \quad W^A = B^A \cdot T^A + H^A .$$

$B^A$  bezeichnet den Wert des Bodens in der ursprünglichen Verwendungsart der  $T^A$ -Produktionslänge.  $H^A$  steht für den in dieser Produktionsweise gegebenen Wert des Bestandes.  $T^A$  wurde als zu lange bezeichnet und in Tat und Wahrheit sollte  $T^N$  die Produktionslänge darstellen. Der Boden besäße unter diesem Regime den Wert  $B^N (> B^A)$ . Ein synchronisierter Wald, der aus  $T^N$  Parzellen unterschiedlich alter Bestände aufgebaut ist und mit der bodenwertoptimalen Produktionsperiodenlänge von  $T^N$  Jahren bewirtschaftet wird, weist den in Gleichung (3.3.6a) formulierten Wert ( $W^N$ )

auf. Der Waldwert setzt sich aus dem  $T^N$ -fachen Bodenwert ( $B^N$ ) und dem Holzkapitalwert ( $H^N$ ) des synchronisierten Bestandes zusammen:

$$(3.3.6a) \quad W^N = B^N \cdot T^N + H^N .$$

Um die einzelnen Teile des volkswirtschaftlichen Gewinnes sowohl graphisch als auch für eine gegebene bewaldete Fläche bestimmen zu können, hat die Analyse flächentreu zu erfolgen. Die folgende Gleichung (3.3.6b) zeigt somit den Wert des durch die Produktionsperiodenlänge von  $T^N$  Jahren optimierten synchronisierten Waldes, der auf der Fläche der ursprünglichen  $T^A$  Parzellen (z.B.  $T^A$  Hektaren) stockt:

$$(3.3.6b) \quad W^N \cdot \frac{T^A}{T^N} = B^N \cdot T^A + H^N + H^N \cdot \frac{1}{T^N} (T^A - T^N) .$$

Der Unterschied von Gleichung (3.3.6b) zu (3.3.6a) besteht im Proportionalitätsfaktor ( $T^A/T^N$ ), um flächentreu einen neuen Waldwert zu erhalten. Die Aufteilung des Holzkapitals in zwei Ausdrücke wird in der graphischen Darstellung von unmittelbarem Nutzen sein.

Unter vorläufiger Vernachlässigung des Bodenwertgewinnes, wenn eine Umtriebszeit von  $T^N$  statt  $T^A$  Jahren zur Anwendung gelangt, soll nachfolgend der holzkapitalmässige Teil des volkswirtschaftlichen Gewinnes festgestellt werden. Um zum neuen Wald mit Produktionsdauer  $T^N$  auf der Fläche  $T^A$  zu gelangen, muss der auf der Fläche ( $T^A - T^N$ ) stockende überalte Bestand eliminiert und verkauft werden, was einen Ertrag von  $\Delta F$  abwirft. Man beachte, dass  $\Delta F$  die Kapitalwerte ( $\int_{T^N}^{T^A} S^A(t) dt$ ) übersteigt. Dieser nun bare Teil muss durch einen synchronisierten Wald der Ausdehnung ( $T^A - T^N$ ) und angewandter Produktionslänge  $T^N$  ersetzt werden. In Gleichung (3.3.3) (vgl. auch den mathematischen Anhang) wurde gezeigt, dass der Kapitalwert eines Einzelbestandes ( $S(t)$ ) als Summe aufgelaufener, aufdiskontierter Kosten abzüglich der Erträge aufgefasst werden kann. Auf dem Gebiet ( $T^A - T^N$ ) wird mit den Kosten  $H^N \cdot \frac{1}{T^N} (T^A - T^N)$  der synchronisierte  $T^N$ -Wald auf das gesamte Gebiet  $T^A$  ausgedehnt. Und

zwar erfolge diese Ausdehnung ohne zeitliche Verzögerung, das heisst unmittelbar. Technisch ausgedrückt, wird die alte Holzproduktionsmaschine der Länge  $T^A$  auf  $T^N$  verkürzt und der frei gewordene Teil durch eine  $T^N$ -Holzproduktionsmaschine zu Kosten  $H^N \cdot \frac{1}{T^N} (T^A - T^N)$  ersetzt. Die Gleichungen (3.3.7) zeigen die Gesamtkapitalwirkung der Verkürzung der Produktionsperiodenlänge:

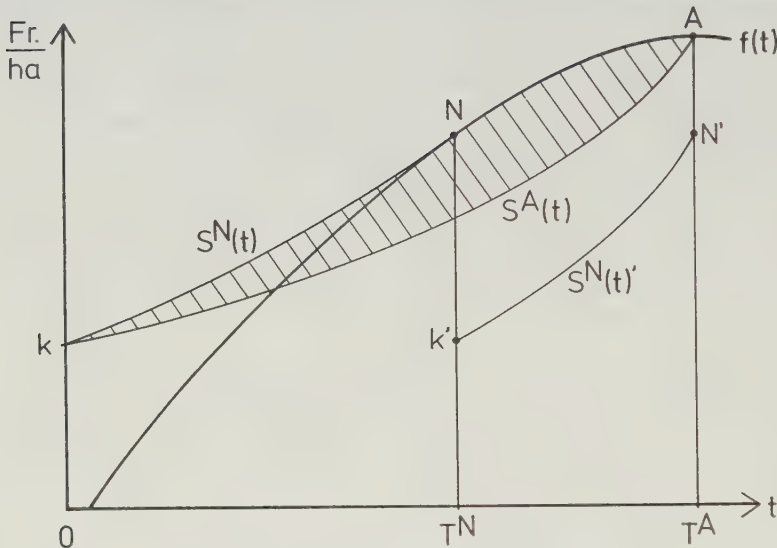
$$(3.3.7a) \quad \Delta H = H^N + H^N \cdot \frac{1}{T^N} (T^A - T^N) - H^A + \Delta F - H^N \cdot \frac{1}{T^N} (T^A - T^N)$$

$$(3.3.7b) \quad \Delta H = H^N + \Delta F - H^A .$$

Die ersten drei Terme zeigen die Differenz in den Holzkapitalwerten eines synchronisierten Waldes mit  $T^N$  Jahren Umtriebszeit zum ursprünglichen Holzkapitalwert bei  $T^A$  Jahren. Beide Holzkapitalgrössen beziehen sich auf die gleiche Fläche und repräsentieren Holzkapitalwerte im stationären Gleichgewicht. Der Uebergang vom suboptimalen Zustand ( $T^A$ ) in das neue, optimale und langfristige Gleichgewicht erzeugt einen Ertrag und verursacht Investitionskosten (vierter und fünfter Term rechter Hand in Gleichung (3.3.7a)). Gleichung (3.3.7a) vereinfacht sich zu (3.3.7b). Der Holzkapitalgewinn ( $\Delta H$ ) ist nichts anderes als die Differenz des wahren Wertes des synchronisierten Bestandes ( $H^N + \Delta F$ ) zum Wert dieses Bestandes bei suboptimaler Verwendung ( $H^A$ ).

Eine bildliche Darstellung der Holzkapitalteiles bei Verkürzung der Produktionsperiode von  $T^A$  Jahren in die optimale Dauer von  $T^N$  Jahren findet sich in Graphik 3.3.3.

Graphik 3.3.3 Der Holzkapitalteil des volkswirtschaftlichen Gewinnes



Die Kapitalgrößen und ihre Flächenäquivalente

$$H^A : OkAT^A$$

$$\Delta F : T^N NAT^A$$

$$H^N : OkNT^N$$

$$H^N \frac{1}{T^N} (T^A - T^N) : T^N k' N' T^A$$

$$\Delta H : kNA$$

Die zeitliche und die räumliche Dimension sind durch die Abszisse vertreten. Die Ordinate zeigt die Werte in Einzelbeständen und trägt deshalb die Dimension Franken je Hektare. Die Flächen der Graphik, die die Holzkapitalwerte im synchronisierten Wald abbilden, repräsentieren zudem die volkswirtschaftlichen Gewinne oder Teile davon und entsprechen Frankenbeträgen bezogen auf die Fläche, die aus  $T^A$  Parzellen gebildet wird. Die Kurven  $S^N(t)$  und  $S^A(t)$  sind die bekannten Holzkapitalwertkurven für Einzelbestände, wenn der Bewirtschaftung die Produktionsperiodenlängen von  $T^N$  bzw.  $T^A$  zugrunde gelegt werden. Für kleinere Flächen in optimaler Bewirtschaftung zeigt die  $S^N(t)'$ -Kurve die jeweiligen Holzkapitalwerte. Die Fläche unter der  $S^N(t)'$ -Kurve repräsentiert den Holz-

kapitalwert eines synchronisierten Waldes, der auf Boden einer Ausdehnung von  $(T^A - T^N)$  Parzellen stockt und durch eine Produktionsperiodenlänge von  $T^N$  Jahren charakterisiert wird. Der Holzkapitalwert eines synchronisierten Waldes, der Boden der Fläche von  $T^A$  Parzellen einnimmt, aber völlig auf die optimale Umtriebszeit von  $T^N$  Jahren eingestellt wurde, ersieht man aus der Graphikfläche  $OkNk'N'T^A$ . Es ist also die schraffierte Fläche der Graphik 3.3.3, die den Holzkapitalteil des volkswirtschaftlichen Gewinnes ( $\Delta H$ ) abbildet.

Nebst dem holzkapitalbedingten Teil des volkswirtschaftlichen Gewinnes tritt eine Bodenwertsteigerung ein, die als bodenbedingter Gewinnanteil bezeichnet werden kann. Es ist ja die maximal mögliche Steigerung des Bodenwertes, die den Optimalzustand charakterisiert. In der ursprünglichen Bewirtschaftungsart (Umtriebszeit von  $T^A$  Jahren) besitzt ein synchronisierter Wald den Wert  $W^A$ , der Gleichung (3.3.5) entnommen werden kann. Man stelle sich vor, über Nacht werde bekannt, dass in Wahrheit ein höherer Bodenwert erzielt werden könnte, sofern anstelle der Produktionsperiodenlänge von  $T^A$  Jahren eine bessere, bodenwertoptimale von  $T^N (< T^A)$  Jahren Anwendung fände. Aus nicht näher zu spezifizierenden Gründen sei es auf absehbare Zeit nicht möglich, die Bewirtschaftungsweise und damit die Altersstruktur des  $T^A$  parzelligen synchronisierten Waldes zu ändern. Der Wald, der gesamthaft seinen ursprünglichen Wert ( $W^A$ ) beibehält, setzt sich neu aus höher bewertetem Boden ( $B^N$ ) und einem tieferen Holzkapitalwert des synchronisierten Bestandes ( $H_B^A$ ) zusammen. Die Gleichung (3.3.8) enthält die oben beschriebene neue Zusammensetzung des Waldwertes:

$$(3.3.8) \quad W^A = B^N \cdot T^A + H_B^A .$$

$H_B^A$  entspräche also dem Holzkapitalwert des Bestandes, wenn man gezwungen wäre auf Boden des Wertes  $B^N$  mit der Umtriebszeit von  $T^A$  Jahren auf der Fläche von  $T^A$  Parzellen Waldbewirtschaftung zu betreiben. Wahrlich keine realistische Konstruktion, die jedoch hilft, den Bodenwertgewinn als Differenz zweier unterschiedliche Holzkapitalwerte zeigende Grössen darzustellen. Der Gleichungen (3.3.9) gehen in solcher Art aus den Gleichungen (3.3.5) und (3.3.6) hervor:

$$(B^N - B^A) \cdot T^A = H^A - H_B^A$$

(3.3.9)

$$\Delta B \cdot T^A = H^A - H_B^A .$$

Prinzipiell eröffnen sich viele Möglichkeiten, die Kapitalwertgrösse ( $H_B^A$ ) darzustellen. Eine Variante, die den volkswirtschaftlichen Gewinn graphisch als zusammenhängende Fläche auszudrücken erlaubt und die sich auch rechnerisch als einfach erweist, ersetzt den Bodenrentenfaktor in  $H^A$  durch einen Kapitalwertberichtigungsfaktor, damit  $H^A$  um das Ausmass der Bodenwertsteigerung korrigiert wird. Dieses  $H_B^A$ , der um die Bodenwertsteigerung kompensierte Holzkapitalwert des Bestandes, drückt bloss diesen Tatbestand aus, ohne von tieferer ökonomischer Bedeutung zu sein. Der alte Holzkapitalwert eines Einzelbestandes, der nur auf einer Parzelle des synchronisierten Waldes stockt, fand in den Gleichungen (3.2.17s und d) seinen Ausdruck. Die Fläche unter der  $S(t)$ -Kurve, die in den Graphiken dieses Kapitels als  $S^A(t)$  benannt wurde, zeigt den Holzkapitalwert im synchronisierten, aus  $T^A$  Parzellen bestehenden und mit einer Produktionsperiode von  $T^A$  Jahren genutzten Wald. Anstelle der ursprünglichen Bodenrente ( $r^A$ ) setze man den Kapitalwertberichtigungsfaktor ( $r^*$ ) ein, um die als  $S_B^A(t)$  bezeichnete Kapitalwertlinie zu erhalten, deren Fläche, die sie umreisst, mit dem um die Bodenwertsteigerung korrigierten Holzkapitalwert ( $H_B^A$ ) übereinstimmt. Um den Kapitalwertberichtigungsfaktor explizit ermitteln zu können, muss die Gleichung (3.3.5) unter Bezugnahme auf Gleichung (3.2.23) nach  $r^*$  aufgelöst werden:

$$(3.3.10) \quad r^* = \frac{r^N \cdot T^A - r^A \cdot \frac{1}{i} (1 - e^{-iT^A})}{T^A - \frac{1}{i} (1 - e^{-iT^A})} .$$

In Gleichung (3.3.10) erscheint der Kapitalwertberichtigungsfaktor ( $r^*$ ), dessen Herleitung dem mathematischen Anhang (Kapitel 3) zu entnehmen ist, als Funktion der ursprünglichen, suboptimalen

Bodenrente ( $r^A$ ), der optimalen neuen Bodenrente ( $r^N$ ), der sub-optimalen Produktionsperiodenlänge von  $T^A$  Jahren und des Zinssatzes ( $i$ ). Die Grössenverhältnisse gehen aus den Beziehungen der Gleichungen (3.3.11) hervor:

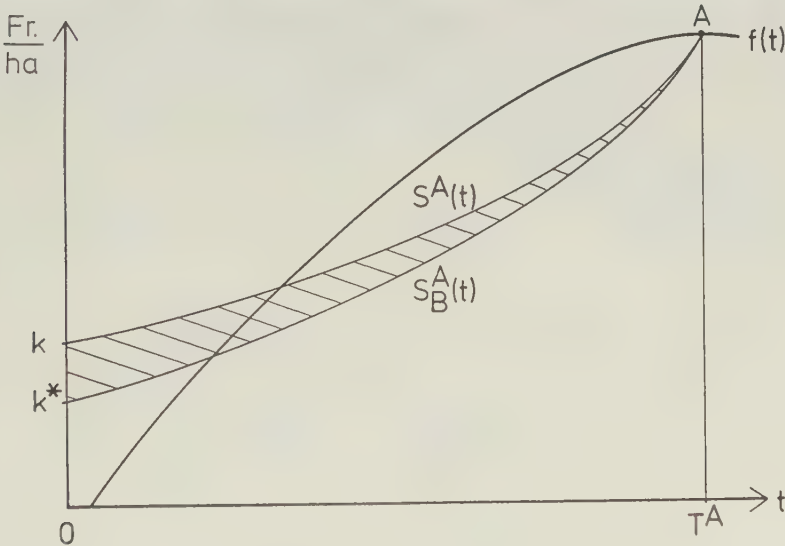
$$r^* = r^N = r^A \quad \text{für } r^N = r^A \quad \text{und somit } T^N = T^A$$

(3.3.11)

$$r^* > r^N > r^A \quad \text{sonst .}$$

Der gesamte Zweck dieser Herleitung ist auf die graphische Darstellung des Bodenwertgewinnes beschränkt. Die folgende Graphik 3.3.4 hält diesen Teil des volkswirtschaftlichen Gewinnes bildlich fest.

Graphik 3.3.4 Der Bodenwertteil des volkswirtschaftlichen Gewinnes



Die Kapitalgrössen und ihre Flächenäquivalente

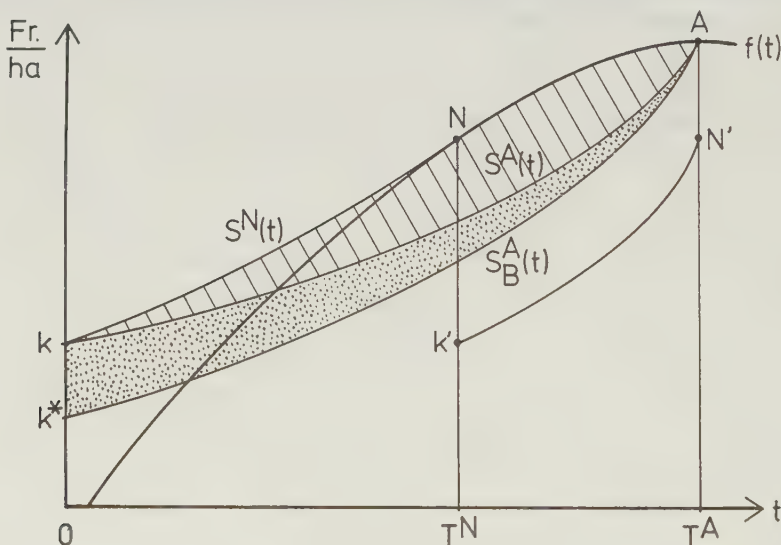
$$H^A : OkAT^A$$

$$H_B^A : Ok^*AT^A$$

$$\Delta B \cdot T^A : k^*kA$$

Eine Verkürzung der Produktionsperiodenlänge von  $T^A$  auf bloss  $T^N$  Jahre, die einen maximalen Bodenwert bewirkt, führt auf den  $T^A$  Parzellen des synchronisierten Waldes zum Bodenwertgewinn von  $\Delta B \cdot T^A$ . Die Graphik 3.3.4 enthält diesen Bodenwertzuwachs als Flächenstück. Der ursprüngliche Holzkapitalwert ( $H^A$ ) ist der Fläche unterhalb der  $S^A(t)$ -Kurve gleich. Diejenige unterhalb der  $S_B^A(t)$ -Linie zeigt den um den Bodenwertzuwachs verringerten Holzkapitalwert ( $H_B^A$ ). Die Differenz der zwei Flächen lässt somit die Erhöhung der gesamten Bodenwertes zur Geltung kommen.

Graphik 3.3.5 Der kapitalisierte volkswirtschaftliche Gewinn (1)



Die Kapitalgrößen und ihre Flächenäquivalente

|                                 |                 |                      |               |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|---------------|
| $H^A$                           | : $OkAT^A$      | $\Delta F$           | : $T^N NAT^A$ |
| $H_B^A$                         | : $Ok^*AT^A$    | $\Delta H$           | : $kNA$       |
| $H^N$                           | : $OkNT^N$      | $\Delta B \cdot T^A$ | : $k^*kA$     |
| $H^N \frac{1}{T^N} (T^A - T^N)$ | : $T^N k'N'T^N$ | VG                   | : $k^*kNA$    |

Der Holzkapitalteil des volkswirtschaftlichen Gewinnes wurde im graphischen Sinne von der  $S^A(t)$ -Kurve unten begrenzt. Diese Linie

bildet gleichzeitig die obere Begrenzung des Flächenstückes, das den Bodenwertgewinn ( $\Delta B \cdot T^A$ ) wiedergibt. Die zwei Flächen liegen eng aneinander, wobei die erwähnte  $S^A(t)$ -Kurve die Naht bildet. Um den volkswirtschaftlichen Gewinn in seiner Gesamtheit zur Darstellung zu bringen, werden die vorstehenden zwei Bilder zu Graphik 3.3.5 fusioniert. Neues geht in diese Graphik nicht ein.

Der Holzkapitalgewinn erscheint in Graphik 3.3.5 in der oberen schraffierten Fläche ( $kNA$ ); der Bodenwertzuwachs kann durch die punktierte Fläche ( $k \cdot kA$ ) veranschaulicht werden. Die Summe beider Gewinne, der volkswirtschaftliche Gewinn (VG), ist demnach als teils punktierte teils schraffierte Fläche erkenntlich. Der volkswirtschaftliche Gewinn (VG), bewirkt durch die Verkürzung der Produktionslänge, erweist sich als einfacher in Kapitalwerten bemessener Ausdruck, der sich leicht graphisch und mathematisch darstellen lässt:

$$VG = \Delta B \cdot T^A + \Delta H$$

$$(3.3.12) \quad VG = H^A - H_B^A + H^N + \Delta F - H^A$$

$$VG = H^N + \Delta F - H_B^A .$$

Die Gleichungen (3.3.12) sind analog zur Fusion der Graphiken die Verschmelzung und Vereinfachung der Gleichungen (3.3.9) und (3.3.7b).

Die Analyse dieses Unterabschnittes hat gezeigt, dass die Verkürzung der Umtriebszeit, in die vom maximalen Bodenwert geforderte, bei synchronisierten Wäldern zur Entstehung eines Gewinnes führt. Die Quelle dieses Gewinnes ist die Reduktion der Ueberkapitalisierung der Holzproduktion. Im folgenden Unterabschnitt wird gezeigt, wie die Erhöhung einer zu geringen in die den Bodenwert optimierende Umtriebszeit einen volkswirtschaftlichen Gewinn abwirft.

### 3.2.2. Verlängerung der Produktionsperiode ins Optimum

Auf einer Gesamtfläche, die aus den Flächen von  $T^N$  Parzellen gebildet wird, stocke ein synchronisierter Wald, der mit einer

Produktionsperiodenlänge von  $T^A$  Jahren ( $T^A < T^N$ ) bewirtschaftet wird. Man beachte, dass im Unterschied zum vorhergehenden Unterabschnitt die ursprüngliche Produktionsperiode von kürzerer als optimaler Dauer ist ( $T^A < T^N$ ). Um eine flächentreue Analyse dieses Falles durchführen zu können, muss die grössere Fläche ( $T^N$  Parzellen), die der optimal bewirtschaftete, synchronisierte Wald einnimmt, untersucht werden.

Auf einer von  $T^N$  Parzellen gebildeten Fläche (z.B.  $T^N$  Hektaren) stehen zwei synchronisierte Wälder, die mittels der Umtriebszeit von  $T^A$  Jahren kultiviert wurden. Der Wert des einen Waldes, der die ersten  $T^A$  Parzellen belegt, steht in Gleichung (3.3.13a), derjenige beider Wälder in Gleichung (3.3.13b). Der zweite synchronisierte Wald belegt demnach eine Fläche von  $(T^N - T^A)$  Parzellen:

$$(3.3.13a) \quad W^A = B^A \cdot T^A + H^A$$

$$(3.3.13b) \quad W^A \cdot \frac{T^N}{T^A} = B^A \cdot T^N + H^A + H^A \cdot \frac{1}{T^A} (T^N - T^A) .$$

Der ursprüngliche Wert des Waldes ( $W^A$ ) setzt sich aus dem  $T^A$ -fachen Bodenwert ( $B^A$ ) und dem Holzkapitalwert ( $H^A$ ) zusammen. Um für den gesamten, aus der Fläche von  $T^N$  Parzellen bestehenden Wald den Wert ermitteln zu können, muss lediglich der Wert  $W^A$  mit  $T^N/T^A$  expandiert werden.

Der Wert des Waldes steigt, wenn die Produktionsperiode auf  $T^N$  Jahre erhöht wird. In Gleichung (3.3.14) erscheint der Wert dieses  $T^N$  Parzellen belegenden Waldes ( $W^N$ ):

$$(3.3.14) \quad W^N = B^N \cdot T^N + H^N .$$

$B^N$  bezeichnet den optimalen Bodenwert und  $H^N$  den Holzkapitalwert eines  $T^N$  Parzellen umfassenden synchronisierten Waldes.

Um den volkswirtschaftlichen Gewinn, der durch die Verlängerung der Produktionsperiode ins Optimum bewirkt wird, feststellen zu können, wird wiederum der Anfang beim Holzkapitalteil gemacht. Man stelle sich vor, an den  $T^N$  parzelligen Wald grenze ein Nachbarwald, der wohl mit der optimalen Produktionsperiodenlänge von  $T^N$

Jahren bewirtschaftet wird, hingegen noch nicht volle Synchronität erlangt habe. Es sei so, dass es dem Nachbarwald an Beständen mangle, wovon ersterer zu viele aufweise. Zudem verfüge der Nachbarwald über Bestände, die altersmässig im ursprünglich analysierten Wald noch nicht vorhanden sind, aber gemäss ihrer Altersstruktur geeignet wären. Dieser nachbarliche Wald ermöglicht es somit, den suboptimal ( $T^A$  Jahre) bewirtschafteten synchronisierten Wald augenblicklich in einen synchronisierten optimalen zu verwandeln.

Die Umstellung auf die Produktionsperiodenlänge von  $T^N$  Jahren wird durch den Zukauf der fehlenden Bestände der Jahrgänge  $T^A$  bis  $T^N$  und durch Verkauf des zweiten synchronisierten  $T^A$ -Waldes, der die Fläche der Parzellen  $T^A$  bis  $T^N$  einnimmt, bewerkstelligt. Die hinzugekauften Bestände, die mit ihren optimalen Holzkapitalwerten gehandelt werden, erfordern eine Investition der Höhe  $I$ . Auch die überzähligen Jungbestände, die zusammen einen synchronisierten Wald mit der Produktionsperiodizität von  $T^A$  Jahren bilden, können zu den neu festgestellten, optimalen Holzkapitalwerten abgesetzt werden. Nebst diesen Transaktionen trägt die Höherbewertung des Bestandes zum Holzkapitalteil des volkswirtschaftlichen Gewinnes ( $\Delta H$ ) bei. Die Gleichungen (3.3.15) zeigen die Berechnung dieses Gewinnanteiles:

$$\Delta H = H^N - H^A - H^A \cdot \frac{1}{T^A} (T^N - T^A) - I + (H^N - I) \frac{1}{T^A} (T^N - T^A)$$

(3.3.15)

$$\Delta H = (H^N - I - H^A) \cdot \left(1 + \frac{T^N - T^A}{T^A}\right) .$$

Die ersten drei Terme der ersten der Gleichungen (3.3.15) lassen per Saldo den Holzkapitalgewinn erkennen, der nach erfolgter Umstellung zu verzeichnen sein wird. Die Kosten der Umstrukturierung sind in den letzten zwei Termen dieser Gleichung enthalten. Es sind Investitionen in hochwertige Altbestände notwendig ( $I$ ) denen tiefere Erträge aus dem Verkauf junger Bestände gegenüberstehen (letzter Term in (3.3.15)). Die zweite Gleichung (3.3.15) ist die kompaktere Schreibweise der ersten.

Um den Bodenwertzuwachs in der gleichen Graphik wie den Holzkapitalgewinn darstellen zu können, wird die Analysetechnik, die bekanntlich eine willkürliche ist, des Unterabschnittes 3.2.1. übernommen. Der Bodenwertzuwachs auf  $T^A$  Parzellen wird konstruktionsgemäss vom Holzkapitalwert ( $H^A$ ) abgezogen und die verbleibende Fläche als  $H_B^A$  bezeichnet (vgl. Gleichung (3.3.16a)):

$$(3.3.16a) \quad \Delta B \cdot T^A = H^A - H_B^A.$$

Der Bodenwertteil des volkswirtschaftlichen Gewinnes ( $\Delta B \cdot T^A$ ) der ersten  $T^A$  Parzellen wird graphisch als Differenz zweier Holzkapitalwerte abgebildet werden. Für den gesamten synchronisierten Wald, der aus  $T^N$  Parzellen besteht, zeigt die Gleichung (3.3.16b) die quantitative Erfassung:

$$(3.3.16b) \quad \Delta B \cdot T^N = (H^A - H_B^A) \frac{T^N}{T^A} = (H^A - H_B^A) \cdot \left(1 + \frac{T^N - T^A}{T^A}\right).$$

Der gesamte volkswirtschaftliche Gewinn (VG) setzt sich aus dem Holzkapitalteil ( $\Delta H$  in Gleichung (3.3.15)) und dem Bodenwertteil ( $\Delta B \cdot T^N$  in Gleichung (3.3.16b)) zusammen. Die Gleichung (3.3.17) ist das Ergebnis der Addition der oben erwähnten Grössen:

$$(3.3.17) \quad VG = (H^N - I - H_B^A) \cdot \left(1 + \frac{T^N - T^A}{T^A}\right).$$

Wie dann aus der Graphik 3.3.6 hervorgehen wird, kann diesmal der volkswirtschaftliche Gewinn nicht als eine geschlossene Fläche aufgefasst werden. Zwei unterschiedlich grosse aber ansonsten identische Flächenstücke repräsentieren diese Grösse. Dieses Faktum kann aus dem zweiten Klammerausdruck der Gleichung (3.3.17) abgeleitet werden.



fierte Flächenstücke) und den Bodenwertzuwachs (gepunktete Flächen) visualisieren.

Es wurde somit dargelegt, dass die Verlängerung zu kurzer Produktionsperioden (Umtriebszeiten) auf ihr optimales Mass gesamthaft von Vorteil ist.

### 3.2.3. Ergebnis der Analyse des volkswirtschaftlichen Gewinnes

In den zwei vorhergehenden Abschnitten konnte gezeigt werden, dass die Kürzung oder Verlängerung der Produktionsperiode ins Optimum einen volkswirtschaftlichen Gewinn erzeugt. Folglich bewirkt jede Abweichung von diesem Optimum einen Verlust. In Abschnitt 3.1.3. erfolgte der Hinweis, dass das vom maximalen Bodenwert her bestimmte Optimum nicht mit dem maximalen Wert eines synchronisierten Waldes übereinstimmt. Der Bodenwert schien als Optimalitätskriterium zu versagen. Dies trifft jedoch nicht zu, wie die vorhergehenden zwei Unterabschnitte bewiesen. Der maximale Bodenwert bestimmt demnach auch im synchronisierten Wald die optimale Kapitalintensität der Holzproduktion.

Das Ergebnis dieses dritten Kapitels ist ein zweifaches. Zum einen konnte die Beschaffenheit des Optimums im synchronisierten Wald geklärt werden. Der zweite Vorteil dieser Analyse, die für Produktionsperiodenvariationen respektablen Umfangs konstruiert wurde, liegt in ihrer unmittelbaren Anwendbarkeit auf empirische Fragestellungen. In folgenden empirischen Teil werden die bisher erarbeiteten Techniken zur Untersuchung der realen Holzproduktion der Schweiz genutzt.

### Fussnoten zu Teil III

- 1) In dieser Arbeit wird in der Regel der kapitaltheoretische Begriff eines "synchronisierten" Waldes verwendet. Eine alternative, in Forstkreisen übliche Bezeichnung wäre der Begriff "Normalwald", der ebenfalls Nachhaltigkeit und Synchronität des Altersaufbaus impliziert.
- 2) Als Managementkosten werden alle Aufsichts-, Leitungs- und Unterhaltskosten verstanden. Zu den Unterhaltskosten werden Aufwendungen für die Pflege der Verbauungen, des Forststrassennetzes usw. gerechnet.
- 3) Wie  $H(T)$  zu bemessen ist, wird Gegenstand von Abschnitt 2.6 sein.
- 4) Das Erstaunliche des Artikels von Faustmann (1849) liegt darin, dass er trotz einigen ökonomischen Mängeln nach einem ähnlichen Berechnungsverfahren zu einem Ausdruck gelangt, wie ihn Gleichung (3.2.25) zeigt.
- 5) Die in Graphik 3.3.1 gewählte Darstellungsform erlaubt auf einfache Weise, ein Problem zu lösen, das in Manz (1986) noch verwickelter erschien. Figure 1 des Thünen-Papiers (Manz 1986) war das Ergebnis etlicher Simulationen, die die dort gezeigten Kurvenverläufe hervorbrachten. Ohne Berücksichtigung von Durchforstungserträgen und Managementkosten folgen in Gleichung (F.3.1) die korrekte und in Gleichung (F.3.2) die Thünensche Rentendefinition.

$$(F.3.1) \quad r = \frac{1}{T} \{f(T) - i \cdot H(T) - k\} \quad \text{mit } H(T) = \int_0^T S(t) dt$$

$$(F.3.2) \quad r_{Th} = \frac{1}{T} \{f(T) - i \cdot \int_0^T f(t) dt - k\}$$

$H(T)$  übersteigt noch nach dem  $T$ , das eine maximale Rente entstehen lässt, das Integral der Marktwerte (Thünens Definition des Holzkapitals). Folglich wird Thünens Rente selbst für viel zu lange Produktionsperioden die korrekt ermittelte Bodenrente übersteigen. Für extrem lange Perioden kann eine Umkehrung der

Grössenverhältnisse eintreten (ab  $T_4$  in Figure 1 des Thünen-Papiers); das heisst, die Fläche unter  $S(t)$  kann kleiner als diejenige unter  $f(t)$  ausfallen.

#### IV. TEIL    DIE KAPITALINTENSITÄT DER HOLZPRODUKTION UND DER VOLKSWIRTSCHAFTLICHE GEWINN AM BEISPIEL DER SCHWEIZERISCHEN FORSTWIRTSCHAFT

##### 1.    Einleitung

Das im vorangehenden Teil entwickelte Modell, das sich teils eng an Arbeiten von J.H. von Thünen, M. Faustmann und K. Wicksell anlehnt, dient der theoretischen Fundierung der empirischen Arbeit dieses Teils. Zur Produktion des Holzes bedarf es des Einsatzes der Produktionsfaktoren Arbeit, Boden und Kapital, deren Zusammenwirken im Rahmen einer vorausbestimmten Produktionstechnik die interessierenden Wertgrößen festlegt. Der Waldwert und seine Bestandteile wie Bodenwert und Kapitalwert des Bestandes sind explizit bestimmbar und können durch die Ermittlung der vorteilhaftesten Umtriebszeit, auch Produktionsperiodenlänge genannt, zu einem wertmässigen Optimum geführt werden. Aus der Anpassung arbiträrer Ausgangszustände ans Optimum erwachsen volkswirtschaftliche Gewinne, wie dies im Abschnitt 3.2 des theoretischen Teiles gezeigt wurde.

Das Einfachste wird es wohl sein, möglichst direkt die Größen zu schätzen, die im obgenannten Teil entwickelt und in Graphik 3.3.5 dargestellt wurden. Die Aufgabe besteht in der Ermittlung des Gewinnes für die schweizerische Volkswirtschaft (besser: die öffentlichen und privaten Waldbesitzer), wenn die Kapitalintensität der Holzproduktion an die gegebene Kosten- und Ertragslage angepasst wird. Ein Teil des Problems besteht demnach darin, eine optimale Situation, wie die im theoretischen Teil analysiert wurde, zu identifizieren. Dies gelingt nur mittels einer Simulation, die eingebettet in empirische Eckdaten a priori das Optimum festlegt. Erst der Soll-Ist-Vergleich ermöglicht dann die Berechnung des volkswirtschaftlichen Gewinnes.

Um den Optimalzustand bestimmen zu können, sind Funktionen erforderlich, die den Vorratzzuwachs und die Durchforstungsmassen im Zeitablauf ausweisen und zwar derart, dass die empirisch gegebenen Vorrats- und Zuwachsmengen möglichst präzise abgebildet werden. Kosten- und Ertragserfahrungswerte dienen dann der Quantifizierung. Es geht nachfolgend also nicht um den empirischen Test einer

Theorie, sondern um eine Kosten-Nutzen-Analyse für den schweizerischen Wald, die sich auf den Aspekt der Holzproduktion beschränkt. Nebst Holz produziert der Wald in der Regel eine Fülle weiterer Güter, die teils wichtiger als die reine Holzproduktion sein können. Man denke an die Schutzwirkungen von Bannwäldern. Die breite Palette positiver externer Effekte ist einer Quantifizierung kaum zugänglich, weshalb von vorneherein die nicht minder wichtige Holzproduktionsfunktion des Waldes Analysegegenstand bildete und in diesem Teil quantitativ erfasst wird.

Für den Schweizer Wald folgt bei Annahme idealer Altersdurchmischung, also ohne die ungünstige tatsächliche Struktur einzubeziehen, aus der empirischen Simulation je nach Zinssatz ein Gewinn (kapitalisierte Jahresgewinne) von 2 bis 4 Mrd. Fr. für die gesamte eine Mio. Hektaren umfassende Fläche. Je Hektar Wald wären also Verbesserungen in der Höhe von 2'000 bis 4'000 Fr. bei heutigen Waldwerten von 8'000 bis 3'000 Fr./ha im Bereich des Möglichen. Die Absolutwerte mögen gering erscheinen, aber wie oben ersichtlich, handelt es sich um Wertsteigerungen von 25 bis über 100 Prozent je Hektar Wald. Der Boden weist im Optimalzustand einen Wert von minus (!) 10'000 Fr. auf. Im theoretischen Teil wurde argumentiert, der Bodenwert spiegle alle künftigen Kosten und Erträge. Negative Werte weisen somit auf in der Zukunft zu tragende Nettoverluste hin. Gewinnstrebige Waldbesitzer liquidieren derartige Wälder und investieren den realisierten Wert des Holzkapitalbestandes alternativ. Die schweizerische Forstgesetzgebung verhindert, dass Wald, der im Sinne der Holzproduktion als unrentabel erscheint, beseitigt wird. Mit der Elimination des privatwirtschaftlich unattraktiven Waldes verlöre die schweizerische Volkswirtschaft die positiven Nebeneffekte des Waldbestandes, die in ihrer Gesamtheit die negativen Bodenwerte vielleicht wettzumachen vermögen.

Die nachfolgende Schätzung der Wertgrössen, die im theoretischen Teil hergeleitet wurden, beschränkt sich, wie mehrfach erwähnt, auf die Holzproduktion im Schweizer Wald. Waldbauliche Eckwerte wie Massenzuwachs, Holzvorrat und dergleichen, die Wachstums- und Durchforstungsfunktionen und die statistisch erfassten Kosten und Erlöse erlauben es, im Rahmen der getroffenen Annahmen und Ein-

schränkungen, die benötigten Werte zu berechnen. Das vierte Kapitel erläutert das Berechnungsverfahren, um zu den im fünften Kapitel aufgeführten Resultaten zu gelangen.

## 2. Messtechnik und Annahmen

Um die Theorie für die Empirie nutzbar zu machen, müssen einige Annahmen getroffen werden. Zum einen wird der schweizerische Wald in seiner Gesamtheit als von homogener Qualität behandelt. Die Berechnung erfolgt derart, dass die für eine repräsentative Hektare ermittelten Werte mit der Anzahl der Hektaren multipliziert, dem Gesamtwert aller qualitativ unterschiedlichen Wälder gleich wird. Mit vorgängig gebildeten Durchschnittswerten für Zuwachs, Vorrat, Erlös, Kosten und ähnlichem geht eine Kalkulation vonstaten, die die Ergebnisse für die repräsentative Hektare erbringen.

Zum andern liegt der Berechnung die Annahme zugrunde, die Daten hätten ihren Ursprung in synchronisierten Wäldern, wo jedes Altersjahr eine gleiche Fläche belegt, und in perfekt nachhaltiger Bewirtschaftung. Die Altersstruktur ändert im Zeitablauf nicht; die synchronisierten Wälder bleiben erhalten und folglich hat sich ein stationäres Gleichgewicht eingespielt. Eingedenk der asynchronen Altersstruktur, die das beschriebene stationäre Gleichgewicht eigentlich gar nicht zulässt, wird ein solches als bestehend angenommen. Weiter wird die heroische Annahme gemacht, dass der Schweizer Wald innert kürzester Zeit von einer Produktionsintensität auf eine andere umgestellt werden könne. Dies ist rein physisch unmöglich, da das Wachstum der Bäume bekanntlich Zeit beansprucht. Die Annahme ist jedoch nicht absurd, denn der Uebergang selbst stellt ein komplexes Problem dar. Von vornherein steht auch nicht fest, ob das gewählte Verfahren den volkswirtschaftlichen Gewinn unter- oder überschätzt. Der Vorratsabbau, wie er vorgeschlagen werden wird, wird mindestens vorübergehend die Holzpreise senken. Gleichzeitig aber könnten rechtliche Vorschriften, die Bestockung entblösster Flächen betreffend, ausgenützt werden, um zweitweilig (längstens drei Jahre) den Waldboden brach liegen zu lassen und somit die erwähnten negativen Bodenrenten zu vermeiden.<sup>1)</sup> Die beschriebenen zwei widerstreitenden Effekte wurden in ihrer Nettowirkung nicht untersucht, was offen lässt, ob der volkswirtschaftliche Gewinn nachfolgend unter- oder überschätzt wird.

Jedenfalls gewinnt man mittels dieser Annahmen und Messtechniken ökonomisch relevante Daten, die in keiner Statistik zu finden sein

dürften. Die Verbindung der ökonomisch fundierten Aussagen des theoretischen Teiles mit den Daten zur schweizerischen Forstwirtschaft, die analog zu den Erörterungen dieses Abschnittes ausgelegt werden, liefert neues, bis anhin unbekanntes Zahlenmaterial. Ueber diesen scheinbaren Umweg gelangt man zu den Daten, die uns Aussagen zum Schweizer Wald zu formulieren erlauben, die auch dessen tatsächlicher Altersstruktur gerecht werden.

### 3. Rahmenbedingungen, Approximationen und Datenbasis

#### 3.1 Waldbauliche Eckwerte

Die von der Bewirtschaftungspraxis gegebenen Zuwachs- und Vorratswerte und Daten ähnlicher Art wurden weitestgehend Ott (1972) und vereinzelt auch der Gesamtkonzeption (1975) entnommen. Nutzung, Flächenangaben und dergleichen finden sich in der Forststatistik diverser Jahrgänge. Da sich Zustand und Bewirtschaftungspraxis kaum von Jahr zu Jahr dramatisch ändern, wurden die Werte aus Ott (1972) als massgebend übernommen. Da die nachfolgende Analyse auf einem gesamtschweizerischen Niveau erfolgt, werden die relevanten Werte nur für den schweizerischen Durchschnitt genannt.

##### 3.1.1 Zuwachs

Nach Ott (1972) Fig. 323 S.159 und Tab. 323a S.160 erfolgt pro Jahr ein Derbholzzuwachs von  $5.4 \text{ m}^3$  je Hektare des öffentlichen Waldes. Aus Tab. 323b S.161 geht hervor, dass die Zuwachsverhältnisse im Privatwald ungefähr gleich sind.  $5.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  und Jahr repräsentiere den Zuwachs im gesamten Schweizer Wald.

##### 3.1.2 Fläche

Die produktive öffentliche Waldfläche betrug im Jahre 1984 725'411 ha gegenüber 680'778 ha im Jahre 1975. Der Anstieg erklärt sich rein erhebungsbedingt. Der Wert von 1984 wurde den Berechnungen zugrunde gelegt. Der Privatwald dehnte sich 1984 über eine produktive Fläche von 311'267 ha aus. Somit ergibt sich ein schweizerisches Total von 1'036'474 ha.

##### 3.1.3 Holzabgabe und Nutzung

Die Division der Holzabgabewerte (vgl. Forststatistik) durch die produktive Waldfläche in Hektaren entspricht der Nutzung ausgedrückt in  $\text{m}^3$  je Hektare. Die Nutzungswerte schwanken in den Jahren 1975 bis 1984 zwischen  $3.74 \text{ m}^3/\text{ha}$  (1976) und  $4.90 \text{ m}^3/\text{ha}$  (1984). Im Mittel wurde pro Jahr im öffentlichen Wald  $4.27 \text{ m}^3/\text{ha}$  Derbholzmasse genutzt. Im Privatwald ist die Schwankungsbreite etwas grösser und die mittlere Nutzung mit etwa  $3.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  geringer.

Nach Ott (1972) S.170f Tab. 326 sind 52 Prozent der Nutzung auf Durchforstungen und 40-45% auf Abtriebsschläge zurückzuführen. Die Durchforstungen dominieren die Abtriebsschläge.

#### 3.1.4 Holzvorrat

Ott (1972) S.155 Fig. 322 und S.156 Tab. 322a beziffern den durchschnittlichen Derbholtzvorrat im öffentlichen Wald der gesamten Schweiz mit  $278 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Aus Tab. 322b S.157 geht hervor, dass der Vorrat im Privatwald etwa gleich hoch oder tiefer sein dürfte. Im folgenden wird angenommen, der Vorrat betrage  $278 \text{ m}^3/\text{ha}$  im gesamten Schweizer Wald.

#### 3.1.5 Umtriebszeit

Aus der Bewirtschaftungspraxis schweizerischen Wälder geht hervor, dass im Durchschnitt eine Umtriebszeit von 155 Jahren angewandt wird. Die Produktionsperiodenlänge, der alternative Ausdruck der Umtriebszeit, bewegt sich zwischen 120 Jahren in den Regionen Mittelland und Alpensüdseite, 150 Jahren in den Regionen Jura und Voralpen und dem Maximum von 200 Jahren in der Alpenregion. Die Angaben zur Umtriebszeit entstammen Ott (1972) S.79 und S.175.

Die obgenannten Produktionsperiodenlängen erlauben es gemeinsam mit der Annahme eines nachhaltigen Waldaufbaus (vgl. Ott (1972) S.175f), was bisher als synchronisierter Wald bezeichnet wurde, die Abbildung der effektiv verfolgten Bewirtschaftungsweise. In welchem Umfang bewusst mit Umtriebszeiten gearbeitet wird, ist dabei unerheblich, denn die Bewirtschaftungspraxis lässt auf solche schliessen. In Anlehnung an Ott (1972) wird auch in dieser Arbeit von 155 Jahren durchschnittlicher gesamtschweizerischer Umtriebszeit ausgegangen.

#### 3.1.6 Altersstruktur

Ein synchronisierter, mit einer Umtriebszeit von 155 Jahren bewirtschafteter Wald lässt unmittelbar auf die Flächenanteile verschiedener Entwicklungsstufen rückschliessen. Die letzte Spalte ("synchronisiert") in Tabelle 4.3.1 ordnet den fünf Entwicklungsstadien die Flächenprozente zu, die bei Nachhaltigkeit, bei der

Bewirtschaftung synchronisierter Wälder,<sup>2)</sup> erforderlich sind, um die Altersstruktur aufrecht erhalten zu können. Aus den Flächenanteilen kann das Alter in Jahren dieser fünf Entwicklungsstufen abgeleitet werden. Da jedes Altersjahr eine gleiche Fläche belegen muss, entsprechen sich die Altersklassen und die jeweiligen Flächenanteile wie eins zu eins.<sup>3)</sup>

Der idealisierten Altersstruktur, die den synchronisierten Wald kennzeichnet, steht die effektive, den schweizerischen Wald beschreibende gegenüber, die in der mittleren Spalte von Tabelle 4.3.1 aufgeführt wurde. Alle Angaben entstammen Ott (1972) S.80ff Fig. 229 a1 bis a3; b1 bis b3 und Tab. 229, sowie der Gesamtkonzeption (1975) S.49 Tab. 7. Die Tabelle 4.3.1 enthält Werte für den gesamten schweizerischen Wald. Da sich der private und der öffentliche Wald diesbezüglich kaum unterscheiden, erübrigt sich eine Differenzierung nach Besitzerkategorien.

**Tabelle 4.3.1 Flächenanteile verschiedener Entwicklungsstufen**

|                       | effektiv | synchronisiert* |
|-----------------------|----------|-----------------|
| Jungwuchs / Dickungen | 6 %      | 19 %            |
| Stangenholz           | 12 %     | 25 %            |
| Schwaches Baumholz    | 36 %     | 25 %            |
| Mittleres Baumholz    | 26 %     | 25 %            |
| Starkes Baumholz      | 13 %     | 6 %             |
|                       | 93 %**   | 100 %           |

\* : Mittel der Rahmenwerte ausser beim "Starken Baumholz"

\*\* : Rest von 7 % ist unbekannt bzw. gemischt

Aus der Aufstellung der Entwicklungsstufen in obiger Tabelle wird deutlich ersichtlich, dass der Schweizer Wald strukturell überaltert ist. Die jüngern Teile (Jungwuchs/Dickungen und Stangenholz) weisen weniger Flächenanteile auf, als von einer synchronen Altersgliederung gefordert wird. Die höheren Altersklassen (insbesondere Schwaches und Starkes Baumholz) belegen eine relativ zu grosse Fläche.

Die Angaben in Tabelle 4.3.1 werden im späteren Verlauf der Arbeit der Beurteilung simulierter Grössen dienen. Wachstum und Vorrat im synchronisierten Wald lassen sich relativ problemlos nachzeichnen. Der effektive Holzvorrat ist bekannt. Die Korrektur des simulierten Vorrats im synchronisierten Wald mit dem effektiven Altersaufbau sollte demgemäss dem effektiv gemessenen Holzvorrat ( $278 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) gleich werden.

### 3.1.7 Mischungsgrade

Aus Ott (1972) S.57ff Fig. 227a und Tab. 227 geht hervor, dass ungefähr 71% der öffentlichen Waldfläche mit Nadelbäumen und der Rest von 29% mit Laubbäumen bestockt sind. Im Privatwald ist das Mischungsverhältnis mit 62% Nadel- und 38% Laubbäumen zu quantifizieren.

Im Durchschnitt der Jahre 1975 bis 1984 betrug der Anteil des Nadelholzes an der Holzabgabe für den öffentlichen Wald 71% und für den Privatwald 74%. Im öffentlichen Wald werden beide Holzarten gleich intensiv genutzt. Vermutlich weisen beide Holzarten die gleiche Produktivität (Zuwachs je Hektare) auf, dies ist jedenfalls die Annahme für künftige Schätzungen. Im Privatwald werden die Nadelbaumbestände intensiver genutzt.

### 3.2 Wachstums- und Durchforstungsfunktionen

Die unbekannten wahren Wachstumsfunktionen müssen durch Funktionen approximiert werden, die die hauptsächlichen Rahmenwerte erfüllen. Insbesondere sollten Zuwachs und Vorrat korrekt abgebildet werden.

Die Nadelbäume werden in einem ersten noch groben Schritt durch die Ertragstafel der Fichte 14 m Oberhöhe im 50. Jahr und die Laubbäume durch Buche 16 m Oberhöhe im 50. Jahr angenähert. Die Tabellen enthalten Bestandes- und Durchforstungsmassen für gleichaltrige Bestände. Jedes zehnte Altersjahr weist einen Bestandeswert aus und zwischen den Dekadengrenzen fallen Durchforstungen an. Die Tabellen enden im 120.sten Altersjahr. Um den gebräuchlichen, langen Umtriebszeiten gerecht werden zu können, wurden (mit einer Verknüpfung zwischen 110 und 120 Jahren) die Tabellen mit Lärche 24 m im 50. Jahr verlängert. Bestand und Durchforstun-

gen wurden je mit separat linear transformierten Lärchen-24 m-Werten weitergeführt.

Die Tabellen 4.3.2 und 4.3.3 enthalten die noch nicht auf effektive Zuwachsmengen transformierten Ertragsfunktionen. Der Bestandeswert der Fichte im Jahre 120 ( $f(120)$  in Tabelle 4.3.2) wurde um  $3 \text{ m}^3/\text{ha}$  erhöht, um den Verlauf der  $f(t)$ -Kurve abzurunden. Die zweite Bestandes-Tabelle zeigt die Werte für Buche 16 m.

Konstruiert man mit den Funktionen der Tabellen 4.3.2 und 4.3.3 je einen synchron aufgebauten Wald, so zeigt Fichte 14 m einen Jahreszuwachs von  $5.2 \text{ m}^3/\text{ha}$  (Durchschnitt aus 150 und 160 Jahren Umtriebszeit) und Buche 16 m von  $5.1 \text{ m}^3/\text{ha}$ .<sup>4)</sup> Die Funktionen approximieren den tatsächlichen Zuwachs recht gut und müssen deshalb nur geringfügig linear transformiert werden, um Zuwächse von  $5.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  und Jahr zu erreichen. Für sämtliche folgenden Berechnungen wurden immer die auf  $5.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  Zuwachs erhöhten Ertragswerte verwendet. Jeweils für 150 und 160 Jahre wurden Berechnungen durchgeführt, die als Durchschnitt die Ergebnisse für den 155-jährigen Umtrieb lieferten. In Tabelle 4.3.4 sind die simulierten Vorratswerte enthalten, die aufgrund der Flächenanteile verschiedener Entwicklungsstufen mittels der Fichte-14 m und Buche-16-m-Ertragsfunktionen berechnet wurden. Für die auf Altersjahre umgerechneten Flächenanteile wurden die Bestandeswerte linear interpoliert, um möglichst genaue Vorratswerte zu erhalten.

**Tabelle 4.3.2 Bestand, dessen Veränderung und die Durchforstungen für Fichte 14m (in m<sup>3</sup>/ha)**

| t   | f(t) | $\Delta f(t)$ | x(t) |
|-----|------|---------------|------|
| 20  | 0    |               | 0    |
| 30  | 0    | 0             | 0    |
| 40  | 47   | 47            | 0    |
| 50  | 111  | 64            | 12   |
| 60  | 169  | 58            | 29   |
| 70  | 218  | 49            | 40   |
| 80  | 260  | 42            | 42   |
| 90  | 296  | 36            | 41   |
| 100 | 324  | 28            | 40   |
| 110 | 343  | 19            | 41   |
| 120 | 358  | 17            | 40   |
| 130 | 372  | 14            | 37   |
| 140 | 383  | 11            | 36   |
| 150 | 393  | 10            | 32   |
| 160 | 402  | 9             | 31   |
| 170 | 410  | 8             | 31   |

Legende: t : Zeitvariable; in Jahren

f(t) : Bestand (m<sup>3</sup>/ha) im Jahre t

$\Delta f(t) = f(t) - f(t-10)$  : Bestandeszuwachs während einer Dekade d.h. zwischen den Jahren t-10 und t

x(t) : Durchforstung während der Jahre t-10 und t

**Tabelle 4.3.3 Bestand, dessen Veränderung und die Durchforstungen für Buche 16 m (in m<sup>3</sup>/ha)**

| t   | f(t) | $\Delta f(t)$ | x(t) |
|-----|------|---------------|------|
| 20  | 0    |               | 0    |
| 30  | 33   | 33            | 0    |
| 40  | 79   | 46            | 3    |
| 50  | 121  | 42            | 21   |
| 60  | 162  | 40            | 31   |
| 70  | 198  | 36            | 38   |
| 80  | 230  | 32            | 42   |
| 90  | 258  | 28            | 43   |
| 100 | 281  | 23            | 44   |
| 110 | 298  | 17            | 44   |
| 120 | 310  | 12            | 44   |
| 130 | 322  | 12            | 40   |
| 140 | 331  | 11            | 39   |
| 150 | 340  | 9             | 35   |
| 160 | 348  | 8             | 34   |
| 170 | 355  | 7             | 34   |

Legende: t : Zeitvariable; in Jahren

f(t) : Bestand (m<sup>3</sup>/ha) im Jahre t

$\Delta f(t) = f(t) - f(t-10)$  : Bestandeszuwachs während einer Dekade d.h. zwischen den Jahren t-10 und t

x(t) : Durchforstung während der Jahre t-10 und t

**Tabelle 4.3.4 Simulierter Vorrat im synchronisierten und im effektiven Wald (in m<sup>3</sup>/ha)**

|       | Nadelholz |       | Laubholz |       | Mischung* |       |
|-------|-----------|-------|----------|-------|-----------|-------|
|       | syn.      | eff.  | syn.     | eff.  | syn.      | eff.  |
| 150   | 212.3     | 282.3 | 197.4    | 256.2 | 208.0     | 274.7 |
| 160   | 227.0     | 299.7 | 209.3    | 270.0 | 221.9     | 291.1 |
| "155" | 219.7     | 291.0 | 203.4    | 263.1 | 214.9     | 282.9 |

\*: 71% Nadel- und 29% Laubholz

Der Effektivwert von 282.9 m<sup>3</sup>/ha, der teils aus Simulationen und teils aus effektiven Flächenanteilen berechnet wurde, weicht lediglich um +4.9 m<sup>3</sup>/ha vom wahren Wert (278 m<sup>3</sup>/ha) ab. Dies entspricht einer Abweichung von +1.8%. Man beachte, dass die Nutzung in den Jahren 1975 bis 1984 den Zuwachs jährlich um etwa 1.1 m<sup>3</sup>/ha unterschritt, somit ein Vorratsaufbau stattfand. Ende 1984 sollte sich deshalb ein Vorrat von 295 m<sup>3</sup>/ha gebildet haben. Nach Tabelle 4.3.4 wäre eine Umtriebszeit von 160 Jahren für die Beschreibung der heutigen Vorratsverhältnisse besser geeignet.

Die ungünstige Altersstruktur alleine bewirkt einen um 70 m<sup>3</sup>/ha höheren Vorrat, als im synchronisierten Wald vorhanden sein wird. Nebst der guten Vorratsapproximation bilden Fichte 14 m und Buche 16 m auch die Anteile der Durchforstungen am Erntetotal hinreichend genau ab (vgl. Tabelle 4.3.5).

**Tabelle 4.3.5 Anteile der Durchforstungen am Erntetotal (in %)**

|       | Nadelholz | Laubholz | Mischung |
|-------|-----------|----------|----------|
| 150   | 49.8      | 55.5     | 51.5     |
| 160   | 51.2      | 56.8     | 52.8     |
| "155" | 50.5      | 56.2     | 52.1     |

52% des Erntetotals stammen aus Durchforstungen und 48% aus Abtriebsschlägen. Die von Ott ermittelten Werte sind 52% Durchforstung und 40-45% Abtrieb. Nicht nur Zuwachs- und Vorratsmengen

können relativ präzise simuliert werden, sondern auch die Zusammensetzung des Zuwachses ist gut approximiert.

### 3.3 Konsumentenpreise und Zinssätze

Der Index der Konsumentenpreise dient der Messung der Preisniveauentwicklung. Einerseits werden damit Daten aus vergangenen Jahren auf das Preisniveau von 1985 gehoben und andererseits können damit Inflationsraten berechnet werden, die zur Ermittlung von Realzinssätzen verwendbar sind. Die folgende Tabelle enthält eine Aufstellung realer und nomineller Renditen und Inflationsraten für unterschiedliche Perioden.<sup>5)</sup>

**Tabelle 4.3.6 Inflationsraten und Renditen (in % pro Jahr)**

| Periode<br>Rendite               |   | 1916-1985 | 1926-1979 | 1943-1979 |
|----------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|
| Inflationsrate                   |   | 2.83      | 2.20      | 3.64      |
| Hypothekarzins                   | n | 4.46      | 4.33      |           |
|                                  | r | 1.59      | 2.08      |           |
| Immobilienrendite                | n |           |           | 5.83      |
|                                  | r |           |           | 2.11      |
| Rendite eidgen.<br>Obligationen  | n | 4.16      |           |           |
|                                  | r | 1.29      |           |           |
| Rendite schweiz.<br>Obligationen | n |           | 4.30      |           |
|                                  | r |           | 2.05      |           |
| Rendite schweiz.<br>Aktien       | n |           | 7.05      |           |
|                                  | r |           | 4.74      |           |

Legende: n : bezeichnet die nominelle Rendite bzw. den nominalen Zinssatz

r : bezeichnet die reale Rendite bzw. den realen Zinssatz

Die Inflationsrate und die Renditen bzw. Zinssätze sind als jährliche geometrische Durchschnitte im Zinseszinssinne zu interpretieren. Man beachte, dass sich aufgrund der Länge der Perioden die reale Rendite und die Inflationsrate nicht völlig zur nominellen Rendite summieren. Die Differenz erklärt sich mit dem Kreuzterm dieser zwei Raten. Im langfristigen Mittel stellen sich die realen Zinssätze bzw. Anlagerenditen auf über ein Prozent und unter fünf Prozent.

Die oben ermittelten Werte sind nie direkt in die Berechnung einbezogen worden, denn sämtliche Kalkulationen wurden für ein hinreichend breites Zinsspektrum durchgeführt, wie es in Tabelle 4.3.6 umgrenzt wurde. Alle Berechnungsergebnisse liegen für Realzinssätze von 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4 und 5 Prozent vor. Immobilien (vgl. auch die Hypothekarsätze) und Obligationen, die in einer tiefen Risikoklasse anzusiedeln sind, weisen reale jährliche Renditen von ungefähr 2% auf. Die risikoreicheren Aktien dagegen werfen höhere Renditen ab. Vermutlich kann die Forstwirtschaft, was ihre Risikoklasse betrifft, zwischen den praktisch risikolosen eidgenössischen Obligationen und den mit grösserer Ungewissheit behafteten Aktien angesiedelt werden. Der Bereich zwischen zwei und drei Prozenten dürfte in etwa für die Forstwirtschaft der zutreffendste sein. Im folgenden werden wohl die Resultate für den Zinsbereich von 1 bis 5 Prozent tabellarisch ausgewiesen werden, die Kommentierung beschränkt sich dann aber weitgehend auf den plausiblen Teil zwischen zwei und drei Prozenten, die den Opportunitätskosten des in die Holzproduktion investierten Kapitals entsprechen dürften.

### 3.4 Erlöse und Kosten

Erst seit 1975 genügt der Detaillierungsgrad der Forststatistik den Modellerfordernissen, weil die Betriebseinnahmen und -ausgaben der öffentlichen Forstbetriebe eindeutige Zuordnungen von Kosten und Erlösen zulassen. Für private Forstbetriebe fehlen entsprechende Daten.

Lediglich die Daten des Holzproduktionsbetriebes wurden verwendet. "Andere Betriebseinnahmen und -ausgaben" sind per Saldo positiv, aber wurden nicht berücksichtigt, weil kaum eine sinnvolle Zuord-

nung zu andern Werten vorgenommen werden kann. Zudem gilt es zu beachten, dass diese Nebenpositionen im Rahmen der Optimierung der Kapitalintensität nicht oder höchstens unbedeutend beeinflusst werden. Die tatsächliche finanzielle Situation der Forstbetriebe ist demnach besser als die im fünften Kapitel ausgewiesenen Resultate. Die Daten der öffentlichen Forstbetriebe der gesamten Schweiz bilden die Grundlage der Modellschätzung. Im folgenden werden die Durchschnittsbildung und die einzelnen Werte kurz erläutert.

#### 3.4.1 Berechnung von Durchschnitten

Alle Erlöse und Kostendaten sind Zehnjahresdurchschnitte zu Preisen, wie sie Ende 1985 durch den Index der Konsumentenpreise ausgewiesen wurden. Für jedes der zehn Jahre wird der Fr.-pro-Kubikmeter- oder Fr.-je-Hektar-Wert berechnet, der anschliessend mittels der Preisreihe auf das Preisniveau von 1985 gehoben wird. Der Durchschnitt aus den zehn "inflationierten" Jahreswerten repräsentiert die für die Schätzung relevante Grösse.

#### 3.4.2 Erntekostenfreier Erlös pro Kubikmeter Holzmasse

Vom Total der Einnahmen des Holzproduktionsbetriebes sind die Kosten für "Rüsten und Transport" (Teil der Ausgaben des Holzproduktionsbetriebes) abzuziehen. Die Division dieser Differenz mit der Erntemenge zeigt den Nettoerlös je Kubikmeter Holzmasse. Die Durchschnittsberechnung für die zehn Jahre erfolgte nach obiger Beschreibung. In Preisen von 1985 ausgedrückt betrug der Nettoerlös je Kubikmeter im gesamtschweizerischen Durchschnitt der Jahre 1975 bis 1984 genau 69.97 Fr./m<sup>3</sup>. Man beachte, dass keine Sortimentsdifferenzierung (in Stamm-, Industrie- und Brennholz) oder eine ähnliche Gliederung (z.B. Los- und Verkaufsholz oder Laub- und Nadelholz) erfolgte. Dies ist im wesentlichen das Resultat mangelnder Unterteilung der Forststatistik, wenn Frankenbeträge auszuweisen sind.

#### 3.4.3 Verwaltung und Unterhalt (Managementkosten)

Die Managementkosten setzen sich aus dem "Total der Betriebsleitung" (nicht Teil der Kosten des Holzproduktionsbetriebes) und den

Unterhaltskosten (Strassen und Wege, Verbauungen und Entwässerungen, Sonstiger Unterhalt) zusammen. Der Durchschnitt der inflationsierten Franken-je-Hektar-Beträge bildet die Managementkostengrösse, die Eingang in die Berechnung fand. Konkret handelt es sich um den Wert von 172.69 Fr./ha.

#### 3.4.4 Kulturen und Jungwuchs

In dieser Position der Betriebsausgaben sind zusätzlich die Kosten von "Erstdurchforstung und Aufasten" enthalten. Trotzdem werden die Kosten so interpretiert, als entstünden sie ausschliesslich im Zeitpunkt der Bestandesbegründung. Man stelle sich einen synchronisierten Wald vor. Die Kosten für Kulturen und Jungwuchs werden folglich mit der Gesamtfläche dividiert und mit der Umtriebszeit multipliziert. Das Ergebnis stellt eine gute Annäherung an die wahren Kosten dar, eine Hektare Wald aufzuforsten. Bei einer gesamtschweizerischen Umtriebszeit von 150 Jahren wird  $k=7319$  Fr./ha und bei 160 Jahren wird  $k=7807$  Fr./ha, wiederum in Preisen des Jahres 1985 ausgedrückt.

#### **4. Das Berechnungsverfahren**

##### **4.1 Holzmassen**

In der ersten von drei Berechnungsstufen werden die Holzmassen ermittelt. Von den waldbaulichen Eckwerten her (vgl. Abschnitt 3.1) ist der jährliche Zuwachs von  $5.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  bekannt. Allerdings geht aus Ott (1972) nicht hervor, ob sich der Nadelwald im Massenzuwachs vom Laubwald unterscheidet. Es werden deshalb gleiche Massenzuwächse unterstellt. Um den Massenzuwachs von  $5.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  für einen synchronisierten Wald rekonstruieren zu können, vergegenwärtige man sich die Zuwachs- und Erntebedingungen. In einem synchronisierten Wald bestehend aus T (z.B. 150) Parzellen, die für den weiteren Verlauf je die Fläche einer Hektare einnehmen, erfolgt ein Abtriebsschlag auf der mit dem T-jährigen (z.B. 150 Jahre alt) Bestand bestockten Fläche. Die übrigen T-1 Parzellen werden durchforstet. Die Ernte im T-parzelligen synchronisierten Wald, der mit einer Produktionsperiodenlänge von T Jahren bewirtschaftet wird, setzt sich aus der Masse des Abtriebsschlages der T-ten Parzelle und der Summe der Durchforstungen aus den restlichen Parzellen zusammen. Ein derartiger Wald, der, wie oben beschrieben, jährlich geerntet wird, befindet sich in einem stationären Zustand. Die Ernte entspricht somit dem jährlichen Massenzuwachs. Letzterer ist bekannt und von Ott (1972) mit  $5.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  beziffert worden. Die Tabelle 4.4.1 zeigt am Beispiel der Fichte 14 m Oberhöhe im 50. Jahr und einer Umtriebszeit von T Jahren die Derbholzmassenverhältnisse im synchronisierten Wald und zwar derart, dass der Zuwachs bei 150-jährigem Umtrieb genau mit den ermittelten  $5.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  übereinstimmt.<sup>6)</sup>

Die Tabelle 4.4.1 und alle Berechnungen, deren Resultate im Anhang B.1 aufgelistet wurden, gehen von der Annahme aus, der schweizerische Wald lasse sich durch Fichte der Bonitätsklasse 14 m Oberhöhe im 50. Jahr und durch eine Umtriebszeit von 150 Jahren beschreiben. Die erste Kolonne (T) der Tabelle 4.4.1 enthält mögliche Umtriebszeiten und die entsprechenden Hektarzahlen synchronisierter Wälder. Das Maximum beträgt 150 Jahre, die angenommene Umtriebszeit für die Schweiz, und demgemäss 150 Hektaren, die Modellgrösse. Die Massenspalten zwei bis fünf sind über die An-

passung der Wachstums- ( $f(t)$ ) und Durchforstungsfunktionen ( $x(t)$ ) der Tabelle 4.3.2 zu eruieren. Ein synchronisierter 150 Hektaren Wald, der sich entwickelt, wie die Funktionen in nämlicher Tabelle fordern, liefert jährlich eine Masse von  $393 \text{ m}^3$  aus dem Abtrieb des ältesten Bestandes ( $f(150)=393$ ) und  $390 \text{ m}^3$  Holzmasse aus der Durchforstung der übrigen Parzellen ( $\int_{t=0}^{150} x(t)=390$ ). Jährlich produzieren diese 150 Hektaren  $783 \text{ m}^3$  Holz, was  $5.22 \text{ m}^3$  pro Hektare Zuwachs bzw. Ernte bedeutet. In Tat und Wahrheit findet im Schweizer Wald ein jährlicher Zuwachs von  $5.4 \text{ m}^3$  pro Hektare statt, also ein um 3.45% höherer als Tabelle 4.3.2 impliziert.

**Tabelle 4.4.1 Holzmassen für Fichte 14 m und 150 Jahre**

| T   | Bestand | Durchforst. | Vorrat | Ernte | Ernte/Vorrat |
|-----|---------|-------------|--------|-------|--------------|
| 30  | 0.00    | 0.00        | 0.00   | 0.00  | 0.00         |
| 40  | 48.62   | 0.00        | 6.08   | 0.96  | 15.81        |
| 50  | 114.83  | 12.41       | 21.21  | 2.01  | 9.49         |
| 60  | 174.83  | 42.41       | 41.81  | 2.86  | 6.85         |
| 70  | 225.52  | 83.79       | 64.43  | 3.49  | 5.42         |
| 80  | 268.97  | 127.24      | 87.28  | 3.92  | 4.49         |
| 90  | 306.21  | 169.66      | 109.54 | 4.18  | 3.82         |
| 100 | 335.17  | 211.03      | 130.66 | 4.32  | 3.31         |
| 110 | 354.83  | 253.45      | 150.14 | 4.37  | 2.91         |
| 120 | 370.34  | 294.83      | 167.84 | 4.38  | 2.61         |
| 130 | 384.83  | 333.10      | 183.98 | 4.37  | 2.37         |
| 140 | 396.21  | 370.34      | 198.73 | 4.33  | 2.18         |
| 150 | 406.55  | 403.45      | 212.24 | 4.27  | 2.01         |

Masseinheiten: T : Jahre und/oder Hektaren (ha)  
Bestand :  $\text{m}^3/\text{ha}$  im Alter T  
Durchforstung :  $\text{m}^3$  bis Alter T für T ha  
Vorrat :  $\text{m}^3/\text{ha}$   
Ernte :  $\text{m}^3/\text{ha}$  pro Jahr  
Ernte/Vorrat : % pro Jahr

Die zweite Kolonne (Bestand) in Tabelle 4.4.1 enthält die um 3.45% erhöhten Bestandeswerte der Fichte 14 m Oberhöhe im 50. Jahr (Tabelle 4.3.2). Mit dem gleichen Prozentsatz vergrössere man die Durchforstungen ( $x(t)$  in Tabelle 4.3.2). Um die Durchforstungsmassen im synchronisierten Wald zu erfassen, müssen die um 3.45%

expandierten Einzeldurchforstungen bis zur jeweiligen Grösse des Waldes (T) bzw. zur jeweiligen Umtriebszeit (T) summiert werden. Für T=150 enthält die Durchforstungskolonne die jährlich mittels Durchforstung geerntete Derbholzmasse ( $403.45 \text{ m}^3$ ) in einem 150-Hektar-Wald. Addiert man die zweite Erntekomponente hinzu, nämlich den Bestand der 150sten Hektare ( $406.55 \text{ m}^3$ ), so folgt ein jährlicher Gesamtzuwachs von  $810 \text{ m}^3$  Holz auf 150 Hektaren bzw. ein Zuwachs von  $5.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  wie beabsichtigt.

Der durchschnittliche Vorrat pro Hektare des synchronisierten Waldes ist in der vierten Kolonne ersichtlich. Der Durchschnitt aus den Bestandeswerten an den Dekadengrenzen entspricht dem durchschnittlichen Vorrat über diese Zehnjahres-Altersklasse.

**Tabelle 4.4.1a Vorratsberechnung für Fichte 14 m und 150 Jahre**

| T   | Bestand an Dekadengrenze |        | durchschnittlicher<br>Altersklassenvorrat | Vorrat |
|-----|--------------------------|--------|-------------------------------------------|--------|
|     | Anfang                   | Ende   |                                           |        |
| 30  | 0                        | 0      | 0                                         | 0      |
| 40  | 0                        | 48.62  | 24.31                                     | 6.08   |
| 50  | 48.62                    | 114.83 | 81.73                                     | 21.21  |
| 60  | 114.83                   | 174.83 | 144.83                                    | 41.81  |
| 70  | 174.83                   | 225.52 | 200.18                                    | 64.43  |
| 80  | 225.52                   | 268.97 | 247.25                                    | 87.28  |
| 90  | 268.97                   | 306.21 | 287.59                                    | 109.54 |
| 100 | 306.21                   | 335.17 | 320.69                                    | 130.66 |
| 110 | 335.17                   | 354.83 | 345.00                                    | 150.14 |
| 120 | 354.83                   | 370.34 | 362.59                                    | 167.84 |
| 130 | 370.34                   | 384.83 | 377.59                                    | 183.98 |
| 140 | 384.83                   | 396.21 | 390.52                                    | 198.73 |
| 150 | 396.21                   | 406.55 | 401.38                                    | 212.24 |

Angaben in  $\text{m}^3$  pro Hektare

Die erste Kolonne der Tabelle 4.4.1a repräsentiert wiederum die Umtriebszeit T in Jahren und die Fläche des synchronisierten Waldes in T Hektaren. Die Bestände zu Beginn und am Ende einer Dekade folgen in der zweiten und der dritten Kolonne und wurden

der Bestandeskolonne von Tabelle 4.4.1 entnommen. Das arithmetische Mittel aus Anfangs- und Endbestand einer Dekade nähert den durchschnittlichen Vorrat einer Altersklasse an (vierte Kolonne). Die fünfte Kolonne obiger Tabelle entspricht der vierten in Tabelle 4.4.1 und zeigt den durchschnittlichen Vorrat je Hektare eines synchronisierten Waldes, der mit einer Produktionsperiode von T Jahren Dauer bewirtschaftet wird. Diese Grösse geht als Durchschnitt aus den Altersklassenvorräten hervor, wobei die jeweiligen Altersklassenvorräte bis zum interessierenden T zu addieren und anschliessend durch die Anzahl Dekaden zwischen den Jahren 0 und T zu dividieren sind. Aus der Tabelle folgt, dass der Vorrat weit weniger stark zunimmt als der Bestand oder der Altersklassendurchschnitt im Zeitablauf, wenn die Produktionsperiodenlänge zunimmt.

In Abschnitt 3.1.3 wurde festgehalten, dass die Nutzung bloss  $4.3 \text{ m}^3$  je Hektare betrug und den jährlichen Zuwachs unterschritt. Der Wald befindet sich folglich nicht in einem stationären Gleichgewicht, denn pro Jahr wächst der Vorrat um  $1.1 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Um weitere Berechnungen durchführen zu können, wird die Annahme gemacht, die Zuwachs-Ernte-Differenz werde nicht vorratswirksam (d.h. werde beispielsweise geerntet ohne den Nettoerlös zu beeinflussen). Spätere Berechnungen werde zeigen, dass der Erlös und nicht die Masse entscheidend ist. Die Konstruktion bezweckt also, für gegebene Erlösrelationen stationäre Gleichgewichtssituationen zu entwerfen, die Zuwachs-, Bestandes- und Vorratsmassen wirklichkeitsnah abbilden. Um stationäre (nachhaltige) Zustände auch langfristig aufrechtzuerhalten, muss die durchschnittliche Erntemenge dem durchschnittlichen Zuwachs angepasst werden. Die fünfte mit "Ernte" überschriebene Kolonne in Tabelle 4.4.1 enthält die jährlichen Erntemengen. Der Zuwachs beträgt  $5.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  und die Ernte beläuft sich auf  $4.27 \text{ m}^3/\text{ha}$ , was sich jeweils auf eine Umtriebszeit von 150 Jahren im schweizerischen Wald zu beziehen hat. Die Konstruktion der Erntemengen für andere Umtriebszeiten ( $T < 150$ ) setzt die Berechnung des Zuwachses je Hektare bei der neuen Bewirtschaftung voraus. Danach bestimmt sich das Erntevolumen in gleicher Relation zum Zuwachs (1.25 zu 1) wie beim 150-Jahr-Umtrieb. Oder anders ausgedrückt, bei allen Umtriebszeiten wird der gleiche Prozentanteil (77.8%) des Zuwachses geerntet.

Für eine Umtriebszeit von 120 Jahren erreicht die Ernte je Hektare mit  $4.39 \text{ m}^3$  bei einem Zuwachs von  $5.54 \text{ m}^3/\text{ha}$  ein Maximum. Umtriebszeitverkürzungen wären mit Zuwachs- bzw. Erntezunahmen von höchstens 2.6% (von  $4.27 \text{ m}^3/\text{ha}$  auf  $4.38 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) verbunden. Eigentlich ein recht interessantes Resultat, dass wider erwarten eine Intensivierung der Produktion via Umtriebszeitverkürzung kaum mit höheren jährlichen Masseleistungen einhergeht.<sup>7)</sup>

Das Ernte-Vorrats-Verhältnis in Prozenten erscheint in der sechsten mit "Ernte/Vorrat" überschriebenen Kolonne der Tabelle 4.4.1. Eine Intensivierung der Produktion widerspiegelt sich in diesem Verhältnis, denn annähernd gleiche Erntemassen werden von kleineren Holzvorräten ermöglicht.

Die Werte von Tabelle 4.4.1 bilden die physische Grundlage weiterer Berechnungen, die nachfolgend erläutert werden.

## **4.2 Boden- und Bestandeskapitalwerte**

### **4.2.1 Bewertung der Holzmasse**

Nach der Ermittlung von Bestand, Durchforstung, Vorrat und Ernte in Tabelle 4.4.1, die Holzmassen und nicht Werte enthält, geht es in diesem Abschnitt um die Zuordnung von Nettoerlösen zu den sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien befindenden Holzmassen. Mit zunehmendem Bestandesalter nimmt die Qualität der Derbholzmasse zu. Gleichzeitig liefert die Durchforstung höherwertiger Bestände entsprechend gesteigerte Erlöse. Auch die Kosten der Ernteeingriffe werden vom Alter der zu durchforstenden oder abzuerntenden Bestände beeinflusst sein. Der Nettoerlös je Kubikmeter Holzmasse wäre demnach eine Funktion der Variablen T (Anzahl Jahre seit der Bestandesbegründung). Diesem klar erkennbaren Sachverhalt stehen statistische Unvollkommenheiten entgegen. Es fehlen detaillierte Angaben in der Forststatistik, die die Wertentwicklung im Zeitablauf erkennen oder rekonstruieren lassen.

Die Holzmassen der Tabelle 4.4.1 werden deshalb mit dem Nettoerlös von 69.97 Fr. je Kubikmeter bewertet. Der Bewertungssatz bestimmt sich als Durchschnitt der preismässig auf das Niveau des Jahres 1985 gehobenen Nettoerlöse von 1975 bis 1984. Man beachte, dass

mit diesem Vorgehen Waldwerte, Kosten und Erlöse für die ursprüngliche Produktionsperiodenlänge (150 oder 160 Jahre) berechnet werden, die den effektiven Grössen gleich werden. Dies ist jedoch die Folge des gewählten Berechnungsverfahrens und bestätigt dessen Korrektheit nicht. Wie beeinflusst die einfache Massenbewertung die Ergebnisse?

Das primäre Interesse gilt der Produktionsperiodenlänge, da davon die grösste Wirkung auf die volkswirtschaftlichen Gewinne, ausgelöst durch eine Umtriebszeitverkürzung, ausgeht. Die Tieferbewertung früher Durchforstungen, die gar negativ sein können, und die Höherbewertung der Bestände wirkt sich in zwei widerstreitenden Effekten aus. Tiefer Durchforstungssequenzen senken die Umtriebszeit und höhere Bestandeswerte, und damit höhere relative Bestandeswertzuwächse, steigern die Produktionsperiodenlänge.<sup>8)</sup> Je nach Modellierung der Bestandes- und Durchforstungswerte obsiegt der eine oder andere Effekt, wie es in Simulationen bestätigt werden konnte.<sup>9)</sup> Die Produktionsperiodenlänge wird nicht signifikant beeinflusst, hingegen sinkt der optimale Bodenwert leicht, der Waldwert nimmt stärker ab, da im neuen Optimum eine verminderte Holzqualität geerntet wird, und der volkswirtschaftliche Gewinn erhöht sich stark, weil qualitativ hochwertige Ueberbestände zur Liquidation gelangen.

Die rechnerisch aufwendige Bewertung der Holzmassen entsprechend ihrer Qualität birgt nebst der Schwierigkeit der Aufschlüsselung von Erntekosten und -erlösen kaum hervorstechende Vorteile, wenn davon abgesehen wird, dass die höheren volkswirtschaftlichen Gewinne eher zugunsten der in dieser Arbeit angeregten Massnahmen ausfallen.

Auf eine unterschiedliche kosten- und erlösmässige Behandlung zwischen Fichte und Buche wird verzichtet. Dies hat zwei Gründe. Zum einen bestehen keine Nutzungsunterschiede zwischen den Baumarten (vgl. Abschnitt 3.1.7) und andererseits zeigt ein Vergleich der Stamm-, Industrie- und Brennholzpreise (vgl. Jahrbuch), dass sich Fichte und Buche kaum preislich unterscheiden. Die Annahme sehr ähnlicher Kosten und Erlöse für beide Baumarten scheint auch aus ökonomischer Sicht sinnvoll. Ein gewinnstrebigter Waldbesitzer, der sowohl Fichten- wie Buchenbestände sein Eigen nennt, wird die

Flächenaufteilung derart gestalten, dass beide Baumarten die gleiche Profitabilität erlangen. Der Bodenwert misst dies in adäquater Weise (vgl. Abschnitte 2.3 und 2.4 des theoretischen Teiles). Ein Vergleich der Bodenwerte vor und nach der Optimierung verdeutlicht, dass tatsächlich nur geringe Differenzen zwischen Fichte und Buche bestehen (vgl. Anhänge B.1 bis B.4). Die Gleichbehandlung bezüglich Kosten und Erträgen scheint eine zulässige Annahme zu sein.

Die rechnerische Aufarbeitung der einheitlich bewerteten Holzmassen, Input- und Managementkosten wird Gegenstand der folgenden Unterabschnitte sein. Die Tabelle 4.4.2 nimmt für Fichte 14 m Oberhöhe im 50. Jahr, angepasst an die effektive Masseleistung des schweizerischen Waldes, und für einen Zinssatz von 2.5% die zu erläuternden Berechnungen in ihrem Ergebnis vorweg. In den Anhängen B.1 bis B.4 finden sich insgesamt 28 gleichartige Tabellen für Fichte 14 m und Buche 16 m mit ursprünglichen Umtriebszeiten von 150 und 160 Jahren und den Zinssätzen von 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4 und 5 Prozent.

Wie bereits in Tabelle 4.4.1 wurde auch für die Berechnung der folgenden Tabelle eine ursprüngliche Umtriebszeit von 150 Jahren vorausgesetzt. Man erinnere sich, dass für die Konstruktion des Bodenwertes und die nachfolgende Ermittlung der Holzkapitalwerte jeweils eine Parzelle in ihrer zeitlichen Entwicklung analysiert wurde. Gleiches trifft auf Tabelle 4.4.2 zu. Die erste Kolonne (T) steht nur noch für die zeitliche Dimension. T zeigt die Anzahl Jahre, die alternative Umtriebszeiten darstellen können. Die zweite Kolonne ( $f(T)$ ) enthält die bereits früher berechneten und mit 55.33 Fr. je Kubikmeter bewerteten Holzmassen,<sup>10)</sup> die jetzt dem Marktwert des Bestandes im Alter T abzüglich der Erntekosten entsprechen. Die Berechnung der übrigen sechs Kolonnen von Tabelle 4.4.2 gestaltete sich aufwendiger, weshalb eigene Unterabschnitte diese Prozeduren erklären.

**Tabelle 4.4.2 Boden- und Kapitalwerte für Fichte 14 m und den Zinssatz von 2.5% (in Fr./ha)**

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7319  | 6996  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -40358 | 8152  | 7831  | 8221  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -25687 | 9219  | 8901  | 9375  |
| 30  | 0     | 0      | 0      | -20895 | 10584 | 10270 | 10853 |
| 40  | 2690  | 0      | 2690   | -16974 | 12331 | 12022 | 12745 |
| 50  | 6353  | 777    | 7130   | -14304 | 13791 | 13488 | 14389 |
| 60  | 9673  | 2873   | 12546  | -12689 | 14559 | 14264 | 15393 |
| 70  | 12477 | 6268   | 18745  | -11760 | 14830 | 14545 | 15966 |
| 80  | 14881 | 10743  | 25624  | -11279 | 15047 | 14775 | 16570 |
| 90  | 16942 | 16407  | 33349  | -11063 | 15390 | 15134 | 17407 |
| 100 | 18544 | 23592  | 42137  | -11007 | 15893 | 15658 | 18544 |
| 110 | 19632 | 32855  | 52487  | -11028 | 16473 | 16265 | 0     |
| 120 | 20490 | 44648  | 65138  | -11077 | 17279 | 17106 | 0     |
| 130 | 21292 | 59549  | 80841  | -11135 | 18506 | 18377 | 0     |
| 140 | 21921 | 78559  | 100480 | -11194 | 20141 | 20069 | 0     |
| 150 | 22494 | 102634 | 125128 | -11252 | 22494 | 22494 | 0     |

**Legende:** T : Jahre und/oder mögliche Umtriebszeiten  
f(T) : mit  $55.33 \text{ Fr./m}^3$  bewerteter Bestand (vgl. Tabelle 4.4.1)  
X(T,i) : aufdiskontierte Durchforstungssumme  
f+X : = f(T) + X(T,i)  
B : Bodenwert  
Sa : Suboptimale Holzkapitalwerte ( $S^A(t)$ )  
Sab : Um die Bodenwertsteigerung reduzierte Holzkapitalwerte ( $S^A_B(t)$ )  
Sn : Optimale Holzkapitalwerte ( $S^N(t)$ )

#### 4.2.2 Durchforstungssumme

Die Durchforstungen, wie sie in ihrer zeitlichen Folge in Tabelle 4.3.2 in der Spalte "x(t)" aufgeführt wurden, werden analog zu den Ausführungen in den Abschnitten 4.1 und 4.2.1 mengenangepasst und bewertet, um der x(t)-Variable des theoretischen Teiles genügen zu können. Die Berechnungen des Boden- und der Holzkapitalwerte verlangt adäquat auf- oder abdiskontierte Durchforstungserlöse. Man konsultiere die Gleichungen (3.2.15 s und d) und (3.2.17 s und d), in die die Summe der Barwerte künftiger Durchforstungen Eingang fanden. Die dritte Kolonne von Tabelle 4.4.2 (X(T,i)) entspricht

einer aufdiskontierten Summe analog zum Bestand bewerteter Durchforstungen. Es wird angenommen, die Durchforstungen erfolgen zwischen den Dekandengrenzen. Der erste Durchforstungsertrag wird um fünf Jahre aufdiskontiert und in die Tabelle eingetragen (777 Fr. für  $T=50$ ). Anschliessend wird wieder für eine Periode von fünf Jahren aufdiskontiert, der neue Durchforstungsertrag addiert, die Summe wiederum für fünf Jahre aufdiskontiert und dann tabellarisch festgehalten (2873 Fr. für  $T=60$ ), etc.. Die Gleichung (4.4.1) fasst die obige Erläuterung in allgemeiner Form zusammen:

$$(4.4.1) \quad \begin{aligned} X(T,i) &= \{X(T-10,i)(1+i)^5 + x(T)\}(1+i)^5 \\ &= X(T-10,i)(1+i)^{10} + x(T)(1+i)^5 . \end{aligned}$$

Wobei  $X(0,i)=0$  und  $T \leq 150$  die zu beachtenden Bedingungen darstellen. Zum Barwert der Durchforstungssumme gelangt man mittels einmaligem Abdiskontieren für die gesamte Zeitspanne.

Das Vorgehen nach Gleichung (4.4.1) hat für die weiteren Kalkulationen den Vorteil, dass Bestand und Durchforstung zeitlich vergleichbar werden und als Summe ( $f+X$  in der vierten Kolonne von Tabelle 4.4.2) in die Bodenwertformel eingesetzt und gemeinsam abdiskontiert werden können. Dieses Vorgehen lässt die mit dem Zinssatz steigende Bedeutung der Durchforstungen erkennen. Aus den Boden- und Holzkapitalwert-Tabellen des Anhanges B.1 (Fichte 14 m und 150 Jahre ursprüngliche Umtriebszeit) geht folgendes hervor. Beträgt der Durchforstungsanteil 63% an der Summe  $f+X$  für  $T=150$  und den Zinssatz von 1%, so steigt dieser Anteil auf 97% beim Zinssatz von 5%. Die Bestandeswerte verlieren bei hohen Zinssätzen nahezu jede Bedeutung.

#### 4.2.3 Bodenwert und optimale Produktionsperiodenlänge

Mit den  $f(T)$ -,  $X(T,i)$ - und  $f+X$ -Werten der zweiten bis vierten Kolonne von Tabelle 4.4.2 wird die Grundlage für die weitere Berechnung gelegt. Um die Holzkapitalwerte ermitteln zu können, muss der Bodenwert bekannt sein (vgl. dazu die Ausführungen im zweiten Kapitel des dritten Teiles). Der nächste Schritt besteht also darin, für alle zehn Jahre die Bodenwerte festzustellen, um den

höchsten zu finden und damit die optimale Umtriebszeit bestimmt zu haben. Die Variable T repräsentiert in diesem Falle unterschiedliche Produktionsperiodenlängen. Das Berechnungsrezept entnehme man der folgenden Gleichung (vgl. dazu die Gleichungen (3.2.15)):

$$(4.4.2) \quad B = \frac{(f(T) + X(T,i))(1+i)^{-T} - k - \frac{a}{i}}{1 - (1+i)^{-T}}.$$

Die fünfte Spalte der Tabelle 4.4.2 wurde aufgrund der empirischen  $f(T)$ ,  $X(T,i)$ ,  $k$  (Inputkosten) und  $a$  (Managementkosten) Werte berechnet.

Der höchste Barwert markiert die optimale Umtriebszeit, die für das Beispiel in Tabelle 4.4.2 hundert Jahre beträgt. Der Boden erreicht unter diesem Bewirtschaftungsregime seinen höchsten Wert von minus 11'007 Fr./ha. Selbst im Optimum stellt sich eine derart ungünstige Kosten- und Erlössituation ein, dass der Wert des Bodens, der bekanntlich dem Nettobarwert aller künftigen forstlichen Aktivitäten entspricht, kleiner als Null, also negativ wird. Die Zahlungsströme können dabei positiv sein, wie aus den erwähnten Beispielen zu ersehen ist.

#### 4.2.4 Suboptimale Holzkapitalwerte

In der mit "Sa" überschriebenen sechsten Spalte von Tabelle 4.4.2 (vgl. Abschnitt 4.2.1) wurden die bei einer 150-jährigen Umtriebszeit geltenden Holzkapitalwerte aufgeführt. Diese sind suboptimal, da, wie aus Abschnitt 4.2.3 hervorgeht, die optimale Umtriebszeit im gewählten Beispiel bloss hundert Jahre betragen sollte. Die Sa-Werte können als empirische Repräsentanten der  $S^A(t)$ -Werte in Abschnitt 3.2 des theoretischen Teiles aufgefasst werden. Die Berechnung der suboptimalen Holzkapitalwerte erfolgt analog den Gleichungen (3.2.17) und erfüllt die Bedingungen der Gleichungen (3.2.18). Auch für die Berechnung der Holzkapitalwerte gilt die Annahme, die Durchforstungen fänden in der Mitte der Dekaden statt. Somit kann folgende Berechnung durchgeführt werden:

$$Sa|_{T=150} = f(150)$$

(4.4.3)

$$Sa|_{T-10} = Sa|_T (1+i)^{-10} + x(T) (1+i)^{-5} - (i \cdot B + a) \cdot \frac{1 - (1+i)^{-10}}{i}.$$

Die Variable  $x(T)$  zeigt den zwischen den Jahren  $T-10$  und  $T$  (genau: im Jahre  $T-5$ ) erzielte Durchforstungsnettoerlös.  $i \cdot B$  stellt die Bodenrente und  $a$  die Managementkosten dar. Wie aus der Tabelle 4.4.2 hervorgeht, trifft die in Gleichung (3.2.18) geforderte Bedingung zu. Für  $T=0$  nimmt  $Sa$  den Wert von 7319 Fr./ha an, was genau mit den den Berechnungen zugrundeliegenden Inputkosten ( $k$ ) übereinstimmt. In den Anhängen B.2 und B.4 wird von einer ursprünglichen Umtriebszeit von 160 Jahren ausgegangen. Zur Berechnung der Holzkapitalwerte gelangen die dort geltenden Werte zur Anwendung. Die Inputkosten nehmen dabei den Betrag von 7807 Fr./ha an. Die  $Sa$ -Werte bewegen sich deshalb zwischen 7807 und 23'350 Fr./ha ( $=f(160)$ ).

#### 4.2.5 Optimale Holzkapitalwerte

Der maximale Bodenwert indiziert die optimale Umtriebszeit. Mittels dieser Optimalgrößen lassen sich die optimalen Holzkapitalwerte berechnen. In der letzten Kolonne der Tabelle 4.4.2 stehen die mit "Sn" bezeichneten optimalen Holzkapitalwerte für die Produktionsperiodenlänge von hundert Jahren. Die Berechnung geht wie in Gleichung (4.4.3) dargestellt vonstatten, wobei der Startwert (in  $T=100$ ) dem Bestandeswert  $f(100)=18'544$  Fr./ha gleichzusetzen ist. Um die restlichen Sn-Werte zu ermitteln, muss der optimale Bodenwert berücksichtigt werden. Wiederum stellt sich für  $T=0$  der Holzkapitalwert auf die Höhe der Inputkosten  $k$  ( $=7319$  Fr./ha). Zwischen  $T=110$  und  $T=150$  existieren selbstredend keine Sn-Werte, was durch die Nullen angedeutet wird.

#### 4.2.6 Um die Bodenwertsteigerung reduzierte Holzkapitalwerte

Die letzte noch zu erläuternde Kolonne der Tabelle 4.4.2 in Abschnitt 4.2.1 trägt die Ueberschrift "Sab" und repräsentiert das empirische Gegenstück der  $S_B^A(t)$ -Kurve der Graphik 3.3.4 in Abschnitt 3.2.1. Die Aufgabe dieser Kurve besteht in der Abgrenzung des um die Bodenwertsteigerung graphisch reduzierten Holzkapitalbestandes im synchronisierten Wald ( $H_B^A$ ). Die Fläche zwischen der  $S^A(t)$ - und der  $S_B^A(t)$ -Kurve ist der Differenz zwischen  $H^A$  und  $H_B^A$  gleich und entspricht der Bodenwertsteigerung. Zu den Sab-Werten gelangt man durch die Verwendung des Kapitalwertberichtigungsfaktors ( $r^*$ ), dessen Berechnung der Gleichung (3.3.10) entnommen werden kann.

Anstelle der Bodenrente ( $i \cdot B$ ) in Gleichung (4.4.3) setze man den Kapitalwertberichtigungsfaktor ein, der im Beispiel der Tabelle 4.4.2 minus 273 Fr./ha und Jahr beträgt, um zu den Sab-Werten der siebten Kolonne zu gelangen. Für  $T=150$  stimmen die Sab-Variable und der Marktwert des Bestandes überein. Für  $T=0$  unterschreitet die Sab-Kurve den Betrag der Inputkosten. Dies ist eine Folge des die Bodenrente übertreffenden Kapitalwertberichtigungsfaktors.

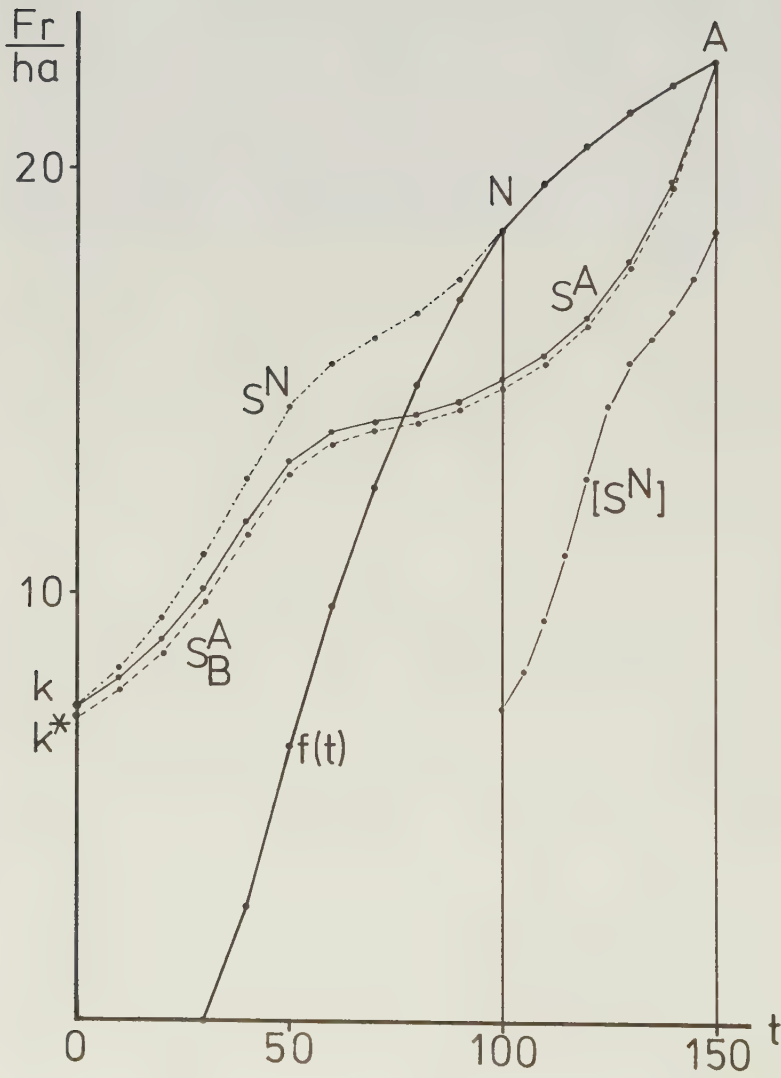
#### 4.2.7 Graphische Darstellung empirischer Holzkapitalwertkurven

Aus jeder Boden- und Holzkapitalwert-Tabelle der Anhänge B.1 bis B.4 können Graphiken gezeichnet werden. Die Graphiken 4.4.1 und 4.4.2 stellen die empirischen Gegenstücke zu Graphik 3.3.5 dar.

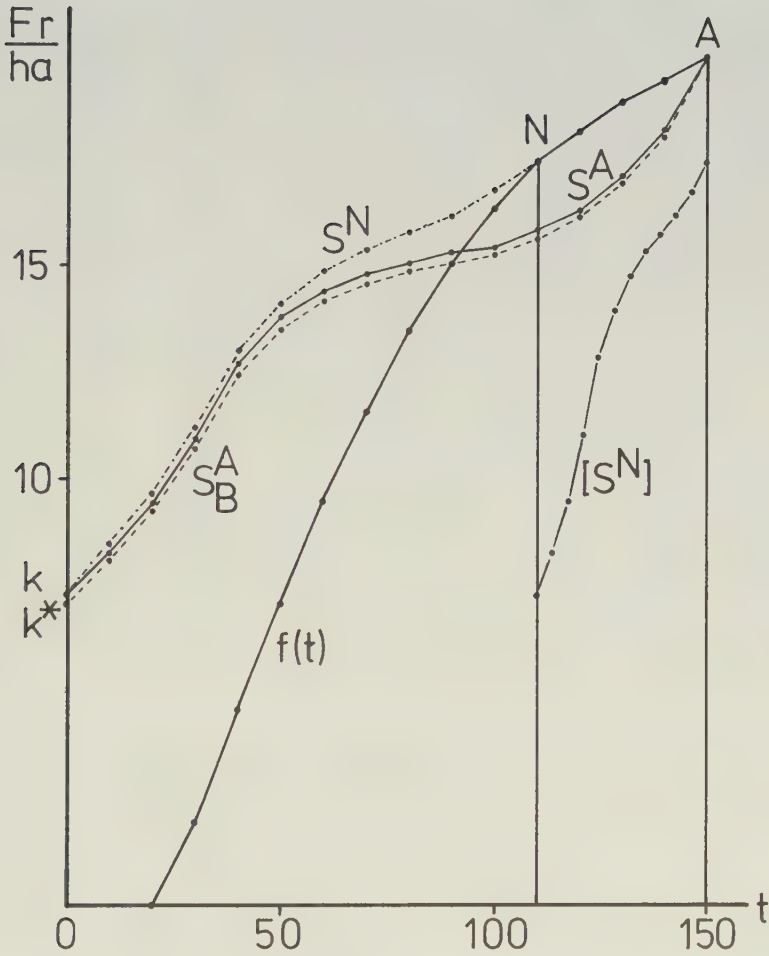
Die optimale Umtriebszeit sinkt für Fichte 14 m Oberhöhe im 50. Jahr auf  $T^N=100$  Jahre. Die Werte der Tabelle 4.4.2 (vgl. Anhang B.1 Tabelle B.1.5) erscheinen in Graphik 4.4.1 bildlich. Alle Bezeichnungen ( $f(t)$ ,  $S^A(t)$ , etc.) entsprechen denjenigen von Graphik 3.3.5.

Der nächsten Graphik liegt Buche 16 m Oberhöhe im 50. Jahr bei einer ursprünglichen Umtriebszeit von 150 Jahren und dem Zinssatz von 2.5% zugrunde. Die verwendeten Werte können der Tabelle B.3.5 des Anhanges B.3 entnommen werden. Im Beispiel Buche 16 m sinkt die Umtriebszeit bloss um 40 Jahre auf  $T^N=110$ . Bedingt durch den relativ höheren Durchforstungsanteil am Gesamtbetrag werden für die Buche tendenziell höhere optimale Umtriebszeiten berechnet.

Graphik 4.4.1 Kapitalwerte für Fichte 14 m  
(Zins=2.5%;  $T^A=150$  Jahre)



Graphik 4.4.2 Kapitalwerte für Buche 16 m  
(Zins=2.5%;  $T^A=150$  Jahre)



Mit Ausnahme der neuen optimalen Umtriebszeiten stimmen beide Graphiken weitgehend überein. Obwohl mit dem Zinssatz von 2.5% eine realistische aber ausgeprägte Veränderung der Umtriebszeit angestrebt wurde, liegen die Linien  $S^A$  und  $S_B^A$  nahe beieinander. Ein Vergleich der Bodenwerte bestätigt, dass durch die Optimierung der Umtriebszeit nur eine geringe Bodenwertverbesserung eintritt, was sich in der erwähnten Nähe der beiden Linien auswirkt. Die optimalen Kapitalwerte ( $S^N$ ) schneiden, wie erwartet, die Linie der Bestandeswerte ( $f(t)$ ) nicht, sondern nähern sich diesen tangential an. Allen Kapitalwertkurven ist der Wechsel von konvexem zu konkavem und wieder zurück zu konvexem Verlauf eigen. Sofern die Durchforstungserträge die Kosten und/oder künftigen Abtriebserträge dominieren, besitzen die Kapitalwertlinien einen konkaven Verlauf. So erstaunt es nicht, dass im Beispiel der Buche der konkave Verlauf ausgeprägter bauchig als bei Fichte ausfällt. Die Flächen zwischen den Linien entsprechen den im nächsten Abschnitt empirisch zu bestimmenden volkswirtschaftlichen Verbesserungen.

#### 4.3 Berechnung des volkswirtschaftlichen Gewinnes

##### 4.3.1 Die Berechnungen im Ueberblick

Durch eine sinngemässe Uebertragung der Gleichungen (3.3.7) bis (3.3.12) lässt sich der volkswirtschaftliche Gewinn einer Optimierung der Kapitalintensität der Holzproduktion ermitteln. Unterteilt in Bestandes- und Stromgrössen erfolgten die Kalkulationen über das gesamte Zinsspektrum. Als Beispiel enthält Tabelle 4.4.3 die Berechnung für die Fichte 14 m bei ursprünglich 150 Jahren Umtriebszeit.

Nach Feststellung des Optimalzustandes kann Tabelle 4.4.3 berechnet werden. "a" bzw. "n" bedeuten die Höhe der Variable vor ( $T^A=150$ ) bzw. nach ( $T^N$ ) der Optimierung. Der griechische Buchstabe " $\delta$ " zeigt die Differenz von neuem zu altem Wert an.

Die Anhänge B.1 bis B.4 enthalten je eine dieser Tabellen (B.1.9, B.2.9, B.3.9 und B.4.9) für Fichte 14 m und Buche 16 m für die ursprünglichen Umtriebszeiten von 150 und 160 Jahren. Aus den Holzmassen- und Boden- und Holzkapitalwerte-Tabellen können die Tabellen des volkswirtschaftlichen Gewinnes konstruiert werden, was in den folgenden Abschnitten erläutert werden soll.

**Tabelle 4.4.3 Volkswirtschaftliche Gewinne bei Fichte 14 m**  
( $T^A = 150$  Jahre)

| Var              | 1 %    | 1.5 %  | 2 %    | 2.5 %  | 3 %    | 4 %     | 5 %     |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Bestandesgrößen  |        |        |        |        |        |         |         |
| VRa              | 212.24 | 212.24 | 212.24 | 212.24 | 212.24 | 212.24  | 212.24  |
| VRn              | 167.84 | 150.14 | 150.14 | 130.66 | 130.66 | 109.54  | 87.28   |
| ΔVR              | -44.40 | -62.10 | -62.10 | -81.59 | -81.59 | -102.70 | -124.96 |
| HKa              | 16603  | 15801  | 15041  | 14344  | 13717  | 12674   | 11870   |
| HKn              | 15848  | 14784  | 14227  | 13260  | 12824  | 11589   | 10459   |
| ΔHK              | -754   | -1016  | -814   | -1084  | -893   | -1085   | -1411   |
| BOa              | -8874  | -10648 | -11176 | -11252 | -11141 | -10742  | -10324  |
| BOn              | -8547  | -10336 | -10891 | -11007 | -10947 | -10626  | -10262  |
| ΔBO              | 326    | 312    | 285    | 245    | 194    | 116     | 62      |
| WAa              | 7729   | 5153   | 3864   | 3092   | 2576   | 1932    | 1546    |
| WAN              | 7301   | 4448   | 3336   | 2253   | 1878   | 963     | 197     |
| ΔWA              | -428   | -704   | -528   | -839   | -699   | -969    | -1349   |
| ΔHO              | 5455   | 7147   | 7147   | 8756   | 8756   | 10252   | 11593   |
| INV              | 3170   | 3942   | 3794   | 4420   | 4275   | 4636    | 4881    |
| HER              | 2286   | 3204   | 3353   | 4336   | 4481   | 5616    | 6712    |
| VWG              | 1858   | 2500   | 2825   | 3497   | 3782   | 4647    | 5364    |
| VZW              | 24.03  | 48.52  | 73.09  | 113.13 | 146.81 | 240.52  | 346.98  |
| Jährliche Ströme |        |        |        |        |        |         |         |
| ERa              | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27    | 4.27    |
| ERn              | 4.38   | 4.37   | 4.37   | 4.32   | 4.32   | 4.18    | 3.92    |
| ΔER              | 0.11   | 0.10   | 0.10   | 0.05   | 0.05   | -0.09   | -0.35   |
| GWa              | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29   | 77.29   |
| GWn              | 73.01  | 66.73  | 66.73  | 56.33  | 56.33  | 38.53   | 9.84    |
| ΔGW              | -4.28  | -10.56 | -10.56 | -20.96 | -20.96 | -38.76  | -67.45  |
| iHE              | 22.86  | 48.06  | 67.05  | 108.40 | 134.43 | 224.65  | 335.62  |
| iVG              | 18.58  | 37.50  | 56.49  | 87.44  | 113.47 | 185.89  | 268.18  |

**Legende:** a : Umfang der Variable bei der herkömmlichen Umtriebszeit (150 oder 160 Jahre)  
n : Umfang der Variable bei optimaler Umtriebszeit  
Δ : Differenz zwischen "a" und "n" ( $\Delta V = V_n - V_a$ )  
VR : Holzvorrat ( $m^3/ha$ )  
HK : Holzkapitalwert des synchronisierten Waldes (Fr./ha)  
BO : Bodenwert (Fr./ha)  
WA : Wert des synchronisierten Waldes (Fr./ha)  
ΔHO : Erlös aus Abtrieb der Ueberbestände (Fr./ha)

INV : Investitionen in Neubestände (Fr./ha)  
HER : Nettoholzerlöse (Fr./ha)  
VWG : Volkswirtschaftlicher Gewinn (Fr./ha)  
V&W : Volkswirtschaftlicher Gewinn in Prozent des Waldwertes (WAa)  
ER : Jährliche Ernte ( $m^3$ /ha und Jahr)  
GW : Jährlicher Ertrag ("Gewinn") der Waldbewirtschaftung (Fr./ha und Jahr)  
iHE : Zinsertrag aus Alternativinvestitionen (Fr./ha und Jahr)  
ivG : Jährlicher Mehrertrag (jährlicher volkswirtschaftlicher Gewinn) (Fr./ha und Jahr)

#### 4.3.2 Vorratsveränderung

Die VRa- und VRn-Werte, die den Holzvorrat in Kubikmetern Derbholzmasse je Hektare eines synchronisierten Waldes repräsentieren, können in der Holzmassentabelle (Tabelle 4.4.1) der "Vorrat"-Kolonne entnommen werden. Die Differenz ( $\delta VR$ ) nach Gleichung (4.4.4) berechnet:

$$(4.4.4) \quad \delta VR = VRn - VRa$$

zeigt den Vorratsabbau, der beim Wechsel der langfristigen Gleichgewichtspositionen eintritt. Der Uebergang vom stationären Zustand bei der alten Produktionsperiodenlänge zum stationären Zustand bei optimaler Bewirtschaftung setzt die Holzmasse ( $\delta VR$ ) frei. Mit steigendem Zinssatz sinkt die optimale Umtriebszeit, der Optimalvorrat nimmt ab und der Vorratsabbau folglich zu.

#### 4.3.3. Veränderung der Holzkapital-, Boden- und Waldwerte

Das zweite, dritte und vierte Variablensegment der Tabelle 4.4.3 hat die drei den Kapitalwert des Waldes bestimmenden Größen zum Inhalt. Die Waldwerte (WA), die sich wie alle übrigen Variablen der Tabelle auf einen synchronisierten Wald beziehen, repräsentieren den Barwert eines ewigen Einkommensstromes. In Anlehnung an Gleichung (3.2.10) errechnet sich die WA-Variable wie folgt:

$$(4.4.5) \quad WA = \frac{ER \cdot p - \frac{1}{T} \cdot k - a}{i} .$$

Der Waldwert (WAA bzw. WAN) ist eine Funktion der mit dem Nettoerlös je Kubikmeter (p) gewichteten Ernte (ERa bzw. ERn) (vgl. Tabelle 4.4.1 und 4.4.3), der um die Umtriebszeit ( $T^A$  bzw.  $T^N$ ) adjustierten Inputkosten (k), der Managementkosten (a) und des Zinssatzes (i). Aehnlich der Gleichung (4.4.4) kann anschliessend die Waldwertveränderung ( $\delta WA$ ) einer Umtriebszeitverkürzung ermittelt werden.

Da die kürzeren Umtriebszeiten die laufenden Einnahmen vermindern, sinken die Waldwerte mit steigendem Zinssatz rapide. Weniger gravierend ist die isolierte Zinswirkung (vgl. WAA). Die Optimierung bewirkt tiefere Waldwerte; es tritt genau das Phänomen ein, das in Abschnitt 2.6 des theoretischen Teiles erörtert wurde.

Die Bodenwerte (B) entnehme man den Boden- und Kapitalwert-Tabellen (Anhänge B.1 bis B.4). Durch die Optimierung steigen diese Werte (alle  $\delta BO > 0$ ), bleiben jedoch negativ.

Aus Gleichung (3.2.14a) folgt, dass die Differenz zwischen Wald- und Bodenwert der Bestandeskapitalgrösse (HK) gleich sein muss. Mit steigendem Zinssatz sinken die durchschnittlichen Kapitalwerte; die Differenz ( $\delta HK$ ) nimmt tendenziell zu (Absolutbetrag). Die neuen Kapitalwerte (HKn) sind geringer als die alten (HKa), was die geforderte Verringerung der Kapitalintensität unterstreicht. Da die Summe aus Boden- und Holzkapitalwert den Waldwert festlegt, kann die Variation des Waldwertes als Summe der Veränderungen der erstgenannten Wertgrössen dargestellt werden:

$$(4.4.6) \quad \begin{aligned} WAA, n &= BOa, n + HKa, n \\ \delta WA &= \delta BO + \delta HK . \end{aligned}$$

#### 4.3.4 Holzerlöse und Investitionen

Die nächste Variable der Tabelle 4.4.3 entspricht dem Erlös je Hektare, wenn die Ueberbestände eliminiert werden. Das heisst, die Baumjahrgänge oberhalb der optimalen Produktionsperiodenlänge werden abgetrieben und verkauft. Die Variable  $\delta HO$  kann als empi-

rischer Je-Hektar-Wert der Variablen  $\Delta F$  der Gleichung (3.3.7) und des Flächenstücks  $\Delta F$  in Graphik 3.3.3 betrachtet werden. Die Tabellenwerte des Bruttoholzerlöses wurden nach folgender Gleichung berechnet, wobei  $p$  den Nettoerlös von  $69.97 \text{ Fr./m}^3$  bezeichnet:

$$(4.4.7) \quad \delta HO = (VRa - VRn \frac{T^N}{T^A}) \cdot p .$$

$VRa$  repräsentiert den Holzvorrat je Hektare im synchronisierten Wald, der mit einer ursprünglichen Umtriebszeit von  $T^A$  Jahren bewirtschaftet wird. Nach Abtrieb der Altbestände ( $\text{Alter} > T^N$ ) verbleibt ein durchschnittlicher Holzvorrat, wie es der zweite Term des Klammerausdrucks zeigt. Nach dem Abtrieb verbleibt also ein Holzmasse, die als Bruchteil des langfristigen, stationären Vorrats bei optimaler Umtriebszeit ( $VRn$ ) darstellbar ist. Mit steigendem Zinssatz sinkt, wie bereits mehrfach erwähnt, die optimale Umtriebszeit und der langfristige, optimale Holzvorrat. Folglich nimmt mit dem Zinssatz der (Brutto-) Holzerlös zu.

Nach dem Abtrieb der zu alten Bestandesteile werden die baren Flächen mit neuen synchronisierten Wäldern bestockt, was Investitionskosten ( $INV$ ) auslöst. Die Berechnung der  $INV$ -Variable der Tabelle 4.4.3 erfolgt analog zu den Ausführungen in Abschnitt 3.2.1 des dritten Teiles. Die Investitionskosten entsprechen den Holzkapitalwerten des synchronisierten Waldes. Gleichung (4.4.8) zeigt die Berechnungsweise des Tabellenwertes, der als Durchschnitt je Hektare des Gesamtwaldes aufzufassen ist.

$$(4.4.8) \quad INV = HKn(1 - \frac{T^N}{T^A}) .$$

Der Tabellenwert  $INV$  berechnet sich also aus den drei Variablen optimaler und ursprünglicher Umtriebszeit ( $T^N$  und  $T^A$ ) und dem optimalen Holzkapitalwert ( $HKn$ ).

Der Nettoerlös (die Variable  $HER$  in Tabelle 4.4.3) folgt unmittelbar als Differenz vom (Brutto-) Holzerlös ( $\delta HO$ ) zu den Investitionskosten ( $INV$ ). Mit zunehmendem Zinssatz sinkt die optimale Umtriebszeit, was zu höheren Ueberbeständen und damit zu grösseren

Bruttoholzerlösen führt. Die Investitionskosten steigen tendenziell mit grösseren Zinssätzen, jedoch weniger stark als die Bruttoholzerlöse. Dies resultiert in eindeutig und stark steigenden Nettoholzerlösen je Hektare (HER), wenn die Zinssatz vergrössert werden.

#### 4.3.5 Volkswirtschaftliche Gewinne

Um schliesslich den Gesamtgewinn (den volkswirtschaftlichen Gewinn) einer Umtriebszeitoptimierung ermitteln zu können, muss zum Nettoholzerlös (HER), der den durch den Uebergang ausgelösten Gewinn darstellt, die Veränderung des Waldwertes ( $\delta WA$ ), die die Wertevariation der stationären Zustände erfasst, addiert werden. Die folgenden Gleichungen zeigen, wie die zweitletzte Bestandesgrösse der Tabelle 4.4.3 aus den vorhergehenden berechnet werden kann:

$$VWG = HER + \delta WA$$

(4.4.9)

$$VWG = HKn \frac{T^N}{T^A} + \delta HO - (HKA - \delta BO) .$$

Die letzte Gleichung in (4.4.9) ist eine enge Variante der letzten der Gleichungen (3.3.12).  $(HKA - \delta BO)$  entspricht dem Je-Hektar-Wert von  $H_B^A$  der erwähnten theoretischen Beziehung.

Da die Waldwerte sinken, fällt der volkswirtschaftliche Gewinn je Hektare (VWG) geringer als der Nettoholzerlös (HER) aus. Auch VWG wächst mit steigenden Zinssätzen, da die Holzerlöszunahme die Abnahme des Waldwertes mehr als kompensiert. Als Frankenbetrag je Hektare scheinen die volkswirtschaftlichen Gewinne nicht sehr bedeutend zu sein, handelt es sich doch bloss um 2'000 bis 5'000 Fr./ha. Eindrücklich spiegelt sich die Verbesserung als Prozentwert ( $V\%W$ , die letzte "Bestandesgrösse" der Tabelle 4.4.3) wider. Beim Zinssatz von einem Prozent beträgt die Verbesserung ungefähr 25% des "alten" Waldwertes. Mit höheren Zinssätzen nehmen die relativen Verbesserungen sehr stark zu, um bei einem Realzinssatz von fünf Prozent gar mehr als das Dreifache zu betragen.

#### 4.3.6 Als jährliche Ströme

Die restlichen Variablen von Tabelle 4.4.3 zeigen Stromgrößen. Die Erntemenge (ER) je Hektare wurde der Tabelle 4.4.1 entnommen. In der Regel steigt diese nur geringfügig oder kann gar zurückgehen, wenn relativ tiefe optimale Umtriebszeiten gewählt werden sollten. Der laufende jährliche Ertrag (GW), der der Definition in Gleichung (3.2.10) entstammt und folglich den buchhalterischen Gewinn vor Abzug der Bestandes- und Bodenopportunitätskosten ausweist, sinkt mit steigendem Zinssatz, weil kürzere Umtriebszeiten höhere durchschnittliche Kosten für notwendige Bestandesbegründungen auslösen. Der Absolutwert der Differenz der Nettozahlungen ( $\delta GW$ ) nimmt stark zu. Dieser Waldertragskomponente steht der laufende Zinsertrag aus Alternativinvestitionen (iHE) gegenüber, der aus der Verzinsung des Nettoholzerlöses (HER) entspringt. Dieser steigt mit zunehmendem Zins stärker als der Hektarertrag aus der Waldbewirtschaftung sinkt so, dass gesamthaft ein laufender Mehrertrag je Hektare (iVG) durch die Verringerung der Kapitalintensität entsteht. iVG repräsentiert den volkswirtschaftlichen Gewinn als Stromgröße. Die relative Verbesserung der Stromgrößen entspricht natürlich genau der Verbesserung der Bestandesgrößen, weshalb die Variable V%G auch die laufende relative Veränderung der Gesamteinnahmen je Hektare zeigt.

## 5. Resultate

### 5.1. Einleitung

In diesem letzten Kapitel des empirischen Teiles stehen die Resultate zur Diskussion, die von besonderem Interesse sein dürften. Man erinnere sich, dass der theoretische Teil und die empirische Arbeit von der Annahme ausgingen, der Schweizer Wald lasse sich durch einen stationären gleichgewichtigen Aufbau charakterisieren. Ein synchronisierter Wald, der der erwähnten gleichgewichtigen Altersstruktur entspricht und das theoretische und empirische Konzept der Analyse abgab, setzt sich für die Produktionsperiodenlänge von  $T$  Jahren aus  $T$  Parzellen Wald zusammen. Jede Waldparzelle ist mit einem Bestand bestockt, deren Alter zwischen Null und  $T$  Jahren liegt. Pro Altersjahr wird genau eine Parzelle belegt. Dabei gilt es zu beachten, dass in räumlicher Hinsicht nicht ein schachbrettartig aufgebauter, streng in Altersklassen gegliederter Wald zu verstehen ist, sondern die Jahrgänge können als zufällig durchmischt betrachtet werden.

Tatsächlich jedoch gleicht die Altersstruktur des Schweizer Waldes nicht dem Ideal eines synchronisierten Altersklassenaufbaus. Sowohl strukturell, die alten Bestände überwiegen flächenmässig die jungen, wie absolut, die angewandten Umtriebszeiten sind zu lang, scheint der schweizerische Wald überaltert zu sein.

In den Anhängen B.1 und B.2, die die Berechnungsergebnisse für Fichte 14 m Oberhöhe im 50. Jahr enthalten, sowie B.3 und B.4, die Resultate für Buche 16 m, finden sich mit Ausnahme der Sensitivitätsanalyse alle Schätzwerte. Die folgenden Unterabschnitte des fünften Kapitels fassen die Ergebnisse zusammen und enthalten eine Diskussion der wichtigsten Einsichten, die durch die theoretisch geleitete empirische Analyse gewonnen werden konnten. Zur Darstellung gelangen jeweils sämtliche über das gesamte Zinsspektrum ermittelten Werte. Die Diskussion dagegen beschränkt sich weitgehend auf die Resultate für zwei- bis dreiprozentige Zinssätze. Dieser Beschränkung auf einen engeren Zinsbereich liegen die Erkenntnisse des Abschnitts 3.3 dieses vierten Teiles zugrunde. Dort wurde gezeigt, dass die realen Opportunitätskosten des in die

Forstwirtschaft investierten Kapitals mit Zinssätzen um zwei bis drei Prozent erfasst werden können.

Bei den optimalen Produktionsperiodenlängen beginnend, deren Ausagewert eine zentrale Bedeutung beigemessen werden muss, werden die optimalen Boden-, Holzkapital-, und Waldwerte und ihre Veränderungen, bedingt durch die Optimierung, aufgeführt. Es handelt sich um Wertgrößen, die sich in einem langfristigen stationären Zustand einstellen. Die gesamte Veränderung der Vermögenssituation der Forstwirtschaft wird in der Bezeichnung als volkswirtschaftlicher Gewinn, sowohl als Je-Hektar-Wert als auch bezogen auf die gesamte Fläche des öffentlichen und privaten Waldes tabellarisch ausgewiesen werden. In Abschnitt 5.5 folgt eine Sensitivitätsanalyse der auf stationäre Ursprungs- und Endzustände ausgerichteten Berechnungsergebnisse. Unter Verwendung der Resultate der steady-state-Analyse erfolgt eine Quantifizierung des volkswirtschaftlichen Gewinnes, wenn die tatsächliche Altersstruktur des Schweizer Waldes in Rechnung gestellt wird. Eine Zusammenfassung der Hauptergebnisse beschliesst das fünfte Kapitel des empirischen Teiles.

## 5.2 Optimale Produktionsperiodenlängen

Wie bereits früher erwähnt und aus den Anhängen ersichtlich, erfolgte die Berechnung für Fichte und Buche getrennt und je für ursprüngliche Umtriebszeiten von 150 und 160 Jahren. In Tabelle 4.5.1 sind die Umtriebszeiten aufgelistet, die für die gegebene Konstellation einen maximalen Bodenwert ermöglichen.

Zum einen bestätigen sich die Ergebnisse der komparativen Statik (vgl. den mathematischen Anhang), die besagt, dass bei höheren Zinssätzen kürzere Produktionsperioden angezeigt sind. Selbstverständlich trifft dies sowohl auf die Fichte 14 m wie die Buche 16 m zu. Die relativ höheren Durchforstungserträge der Buche bewirken, dass bei gleichen Zinssätzen diese eine um zehn Jahre längere Umtriebszeit haben sollte. Im engeren Zinsbereich von zwei bis drei Prozent scheint für Fichte 14 m eine Umtriebszeit zwischen 100 und 110 Jahren die ökonomisch vorteilhafteste zu sein. Die bisherige Produktionsperiodenlänge von 155 Jahren wäre also um ein Drittel zu verkürzen. Für Buche 16 m stellen sich die

anzustrebenden Umtriebszeiten auf etwa 110 bis 120 Jahre.

**Tabelle 4.5.1 Optimale Umtriebszeiten (in Jahren)**

| Zins | Fichte 14 m |     | Buche 16 m |     |
|------|-------------|-----|------------|-----|
|      | 150         | 160 | 150        | 160 |
| 1    | 120         | 130 | 130        | 140 |
| 1.5  | 110         | 120 | 130        | 130 |
| 2    | 110         | 110 | 120        | 120 |
| 2.5  | 100         | 100 | 110        | 110 |
| 3    | 100         | 100 | 110        | 110 |
| 4    | 90          | 90  | 100        | 100 |
| 5    | 80          | 90  | 90         | 90  |

### 5.3 Boden-, Holzkapital- und Waldwerte

Die optimalen Bodenwerte sind ausnahmslos negativ. Rein ökonomisch interpretiert bedeutet dies, dass die Holzproduktion in der Schweiz als ein unrentables Unterfangen zu betrachten ist. Man erinnere sich, dass der Bodenwert den Barwert künftiger Nettoeinnahmen spiegelt. Künftige Verluste erscheinen in der Form negativer Bodenwerte. Man beachte dabei, dass dies nicht negative jährliche Zahlungsströme impliziert, sondern die Buchhaltungen der Forstbetriebe weisen gesamthaft Gewinne aus.

Die Bodenwerte für Fichte 14 m und Buche 16 m unterscheiden sich grössenordnungsmässig kaum. Erstere sind bloss um 200 Fr. geringer als die Bodenwerte für Buche.

Die negativen Bodenwerte obiger Tabelle stellen Maximalwerte dar. Im Rahmen der optimierten Produktionsweise und der gegebenen Kosten- und Erlösstruktur ermöglichen keine Produktionsveränderungen weitere Verbesserungen. Nur der Verzicht auf künftige Holzproduktion, der mit dem Abtrieb bestehender Vorräte ohne Neuaufforstungen einhergehen müsste, führt zu einem höheren Bodenwert

von Null. Die Forstgesetzgebung verhindert jedoch solche Lösungen (vgl. dazu die Ausführungen im ersten Teil dieser Arbeit bzw. das "Bundesgesetz betreffend die eidgenössische Oberaufsicht über die Forstpolizei" vom 11.10.1902). Wie schon an früherer Stelle dargelegt, enthalten die Bodenwerte nur den Holzproduktionsaspekt des Waldes. Um zu den wahren Bodenwerten zu gelangen, müssten alle Produktionskomponenten einbezogen werden, die zu wirtschaftlich relevanten Zuständen führen. Man denke an Schutzfunktionen, Erholungsfunktionen und viele andere mehr. Es ist somit denkbar, dass der Einbezug aller Waldleistungen die Berechnung positiver Bodenwerte zur Folge haben könnte.

**Tabelle 4.5.2 Optimale Bodenwerte (in Fr./ha)**

| Zins | Fichte 14 m |         | Buche 16 m |         |
|------|-------------|---------|------------|---------|
|      | 150         | 160     | 150        | 160     |
| 1    | - 8'547     | - 8'952 | - 8'102    | - 8'542 |
| 1.5  | -10'336     | -10'778 | - 9'984    | -10'443 |
| 2    | -10'891     | -11'352 | -10'621    | -11'092 |
| 2.5  | -11'007     | -11'482 | -10'797    | -11'275 |
| 3    | -10'947     | -11'424 | -10'776    | -11'255 |
| 4    | -10'626     | -11'110 | -10'510    | -10'994 |
| 5    | -10'262     | -10'748 | -10'179    | -10'665 |

Ueber die Verkürzung der Produktionsperiodenlänge lassen sich die Verluste minimieren. Tabelle 4.5.3 zeigt, wie die vorgeschlagenen Produktionsveränderungen die Bodenwerte verbessern.

Die Verbesserung bei Fichte fällt deutlich höher aus als bei Buche, was angesichts der stärkeren Verkürzung der Produktionsperiodenlänge im ersteren Falle nicht erstaunt. Die Bodenwertsteigerungen bewegen sich zwischen 0.3 und 6% des Betrages des ursprünglichen Bodenwertes. Sowohl absolut wie relativ geringe Bodenwertsteigerungen werden durch teils ausgeprägte Umtriebszeit-

verkürzungen ausgelöst.

**Tabelle 4.5.3 Veränderung der Bodenwerte (in Fr./ha)**

| Zins | Fichte 14 m |     | Buche 16 m |     |
|------|-------------|-----|------------|-----|
|      | 150         | 160 | 150        | 160 |
| 1    | 326         | 494 | 89         | 181 |
| 1.5  | 312         | 412 | 114        | 172 |
| 2    | 285         | 342 | 118        | 151 |
| 2.5  | 245         | 272 | 109        | 124 |
| 3    | 194         | 209 | 91         | 100 |
| 4    | 116         | 117 | 59         | 60  |
| 5    | 62          | 61  | 35         | 33  |

Die Holzkapitalbestände sinken mit steigendem Zinssatz. Hohe Opportunitätskosten des Kapitals begünstigen Produktionsprozesse, die eine tiefere Kapitalintensität aufweisen (vgl. Tabelle 4.5.4). Die Unterschiede zwischen Fichte und Buche sind gering.

**Tabelle 4.5.4 Optimale Holzkapitalbestände (in Fr./ha)**

| Zins | Fichte 14 m |        | Buche 16 m |        |
|------|-------------|--------|------------|--------|
|      | 150         | 160    | 150        | 160    |
| 1    | 15'848      | 16'686 | 15'525     | 16'199 |
| 1.5  | 14'784      | 15'677 | 14'933     | 15'366 |
| 2    | 14'227      | 14'649 | 14'091     | 14'526 |
| 2.5  | 13'260      | 13'719 | 13'258     | 13'693 |
| 3    | 12'824      | 13'288 | 12'827     | 13'269 |
| 4    | 11'589      | 12'046 | 11'740     | 12'183 |
| 5    | 10'459      | 11'496 | 10'782     | 11'223 |

Der durchschnittliche Holzkapitalbestand eines synchronisierten Waldes beträgt bei einem Zinssatz von einem Prozent ungefähr 16'000 Fr./ha sowohl für Fichten- wie Buchenbestände. Höhere Zinssätze bedingen einerseits die Elimination älterer Bestände, die hohe Kapitalwerte tragen, und andererseits die Tieferbewertung der verbleibenden Baumjahrgänge. Der Kapitalwert synchronisierter Bestände wird sich bei 5% Zins auf etwa 11'000 Fr./ha belaufen. Im engeren Zinsbereich von zwei bis drei Prozent stellt sich der Holzkapitalwert auf eine Höhe zwischen 13'000 und 14'000 Fr./ha. Altersmässig gut durchmischte Fichten- oder Buchenbestände schweizerischer Wälder verzeichnen demgemäss einen durchschnittlichen Wert von 13'500 Fr./ha.

Relativ zum Ursprungszustand, der sich mit Umtriebszeiten von 150 und 160 Jahren charakterisieren lässt, sinkt der Holzkapitalbestand durchschnittlich um 800 Fr./ha für Fichte und um 600 Fr./ha für Buche. Für den Zinsbereich von zwei bis drei Prozent sind die Werte leicht höher. Bei Fichte 14 m findet ein durchschnittlicher Abbau des Holzkapitals von 900 Fr./ha statt. Der nämliche Wert beträgt für Buche 16 m 700 Fr./ha. Sowohl absolut (700 bis 900 Fr./ha.) wie relativ (5 bis 7 %) tritt nur eine geringe Veränderung ein.

**Tabelle 4.5.5 Veränderung der Holzkapitalbestände** (in Fr./ha)

| Zins | Fichte 14 m |        | Buche 16 m |        |
|------|-------------|--------|------------|--------|
|      | 150         | 160    | 150        | 160    |
| 1    | -754        | -489   | -395       | -253   |
| 1.5  | -1'016      | -666   | -318       | -402   |
| 2    | -814        | -865   | -513       | -581   |
| 2.5  | -1'084      | -1'127 | -739       | -789   |
| 3    | -893        | -922   | -616       | -662   |
| 4    | -1'085      | -1'113 | -762       | -803   |
| 5    | -1'411      | -858   | -978       | -1'021 |

Höhere Zinssätze scheinen einen stärkeren Kapitalabbau hervorzurufen. Man beachte, dass damit nur ein Teil des Kapitalabbaus erfasst wurde. Formal ausgedrückt handelt es sich um die ersten drei Terme rechts des Gleichheitszeichens von Gleichung (3.3.7a). Diese Differenz misst die Kapitalveränderung zwischen zwei stationären Zuständen und vernachlässigt damit den Kapitalabbau, der von einem Gleichgewicht ins andere führt (d.h. die letzten zwei Terme von Gleichung (3.3.7a)).

Die optimalen Waldwerte (Tabelle 4.5.6) lassen den Zinseinfluss am deutlichsten erkennen. Eine Verdoppelung des Zinssatzes bewirkt mehr als eine Halbierung der Waldwerte. Die Unterschiede zwischen Fichte und Buche fallen im Durchschnitt klein aus. Dies ist deshalb nicht erstaunlich, weil sich die Waldwerte in Tabelle 4.5.6 als Summe der Bodenwerte (Tabelle 4.5.2) mit den Holzkapitalwerten (Tabelle 4.5.4) herleiten lassen und letztere zwei für Fichte und Buche von jeweils recht ähnlicher Dimension sind.

**Tabelle 4.5.6 Optimale Waldwerte (in Fr./ha)**

| Zins | Fichte 14 m |       | Buche 16 m |       |
|------|-------------|-------|------------|-------|
|      | 150         | 160   | 150        | 160   |
| 1    | 7'301       | 7'734 | 7'423      | 7'657 |
| 1.5  | 4'448       | 4'899 | 4'949      | 4'923 |
| 2    | 3'336       | 3'341 | 3'470      | 3'434 |
| 2.5  | 2'253       | 2'237 | 2'461      | 2'417 |
| 3    | 1'878       | 1'864 | 2'051      | 1'189 |
| 4    | 963         | 936   | 1'229      | 1'189 |
| 5    | 197         | 749   | 603        | 558   |

Für einen Zinssatz von einem Prozent liegen die Waldwerte über 7'000 Fr./ha. Mit steigendem Zinssatz sinken sie rapide, um sich bei 5 % Zins zwischen 200 und 750 Fr./ha zu stellen. Im Bereich zwischen zwei und drei Prozent dürften sich langfristige Waldwerte von 3'500 bis 2'000 Fr./ha als die wirtschaftlich günstigsten er-

weisen. Die unabhängig vom Zinssatz doch recht geringen durchschnittlichen Werte synchronisierter Schweizer Wälder erklären sich weitgehend mit dem negativen Bodenwert, der die respektablen Bestandeskapitalwerte auf obige Höhen reduziert.

Wie Tabelle 4.5.7 zeigt, halten sich die Veränderungen der Waldwerte in Grenzen. Der Wert des Waldes sinkt nur für hohe Zinssätze auf weniger als die Hälfte. In einem Falle (Fichte 14 m, 1% Zins, ursprüngliche Umtriebszeit von 160 Jahren) führt die Reduktion der Umtriebszeit zu einer Waldwertsteigerung. Die höheren Erntemengen vermögen somit die häufigeren Bestandesbegründungskosten in diesem Falle mehr als zu kompensieren. In der Regel aber sinken die Waldwerte deutlich.

**Tabelle 4.5.7 Veränderung der Waldwerte (in Fr./ha)**

| Zins | Fichte 14 m |      | Buche 16 m |      |
|------|-------------|------|------------|------|
|      | 150         | 160  | 150        | 160  |
| 1    | -428        | +5   | -305       | -72  |
| 1.5  | -704        | -253 | -204       | -230 |
| 2    | -528        | -523 | -395       | -430 |
| 2.5  | -839        | -854 | -630       | -674 |
| 3    | -699        | -712 | -525       | -562 |
| 4    | -969        | -996 | -703       | -743 |
| 5    | -1'349      | -797 | -943       | -988 |

Im oben erwähnten Falle steigt der Waldwert gar um 5 Fr./ha. Sonst kennzeichnen Rückgänge bis 1'350 Fr./ha die anzustrebenden Veränderungen. Im ökonomisch wichtigeren Zinsspektrum (2 bis 3%) bewirkt die Optimierung der Kapitalintensität der Holzproduktion Waldwertreduktionen gegenüber dem Ursprungszustand (150 oder 160 Jahre Umtriebszeit) von 700 Fr./ha bei Fichte 14 m und von 500 Fr./ha bei Buche 16 m. Dies bedeutet, dass langfristig bei Fichte ein um 700 Fr./ha höherer Holzkapitalabbau stattfinden

wird, als diese Massnahmen den Bodenwert zunehmen lassen. Gleiches gilt für Buche 16 m bei geringeren Frankenbeträgen je Hektare.

#### 5.4 Volkswirtschaftliche Gewinne

Volkswirtschaftliche Gewinne sind nur über den in Abschnitt 3.2 das theoretischen Teiles skizzierten Weg des Abtriebs von Ueberbeständen zu realisieren. Auf den blossen Flächen müssen synchronisierte Wälder errichtet werden. Die Nettoholzerlöse des Uebergangs sind in Tabelle 4.5.8 zusammengestellt worden.<sup>11)</sup>

Zunehmende Zinssätze bewirken abnehmende Umtriebszeiten, was eine Erhöhung der relativen Ueberbestände zur Folge hat. Höhere Zinssätze wiederum senken die Bestandeskapitalwerte. Das Resultat beider Effekte wirkt sich in ausgeprägt steigenden Nettoholzerlösen bei zunehmenden Zinssätzen aus. Diese Charakteristik findet sich sowohl bei Fichte wie bei Buche, wobei erstere um 1'000 bis 2'000 Fr. letztere überragen.

Tabelle 4.5.8 Nettoholzerlöse (in Fr./ha)

| Zins | Fichte 14 m |       | Buche 16 m |       |
|------|-------------|-------|------------|-------|
|      | 150         | 160   | 150        | 160   |
| 1    | 2'286       | 2'211 | 1'204      | 1'161 |
| 1.5  | 3'204       | 3'096 | 1'283      | 1'835 |
| 2    | 3'353       | 4'032 | 2'019      | 2'566 |
| 2.5  | 4'336       | 5'011 | 2'805      | 3'343 |
| 3    | 4'481       | 5'172 | 2'920      | 3'476 |
| 4    | 5'616       | 6'308 | 3'859      | 4'411 |
| 5    | 6'712       | 6'549 | 4'792      | 5'333 |

Je Hektare Fichtenwald erlaubt die Optimierung der Kapitalintensität der Holzproduktion einen Anpassungsgewinn von 2'000 bis fast 7'000 Fr. Bei Buchenwäldern sind diese Werte mit 1'000 bis mehr als 5'000 Fr. zu veranschlagen. Für Zinssätze zwischen zwei und

drei Prozent könnten Nettoholzerlöse von 3'500 bis 5'000 Fr./ha für Fichte 14 m und von 2'000 bis 3'500 Fr./ha für Buche 16 m erzielt werden.

Die Addition der Nettoholzerlöse zur Veränderung der Holzkapitalbestände (Tabelle 4.4.5) ergibt die Senkung des gesamten Holzkapitals je Hektare des Schweizer Waldes. Nach Gleichung (3.3.7b) bedeutet dies, dass im ursprünglichen Wald (Produktionsperiodenlängen von 150 bis 160 Jahren) die Bestände bis zum Umtriebsalter mit ihren optimalen Holzkapitalwerten und die zu alten Bestände mit ihren Marktwerten als geschlagenes Holz zu erfassen sind. Von dieser Summe müssen die Holzkapitalwerte der Bestände bei suboptimaler Bewirtschaftung abgezogen werden. Die Differenz entspricht der Gesamtkapitalreduktion der Holzbestände. Die Bodenwertsteigerung bleibt auf dieser Stufe unberücksichtigt.

**Tabelle 4.5.9 Gesamtkapitalreduktion der Holzbestände (in Fr./ha)**

| Zins | Fichte 14 m |       | Buche 16 m |       |
|------|-------------|-------|------------|-------|
|      | 150         | 160   | 150        | 160   |
| 1    | 1'532       | 1'722 | 809        | 908   |
| 1.5  | 2'188       | 2'430 | 965        | 1'433 |
| 2    | 2'539       | 3'167 | 1'506      | 1'985 |
| 2.5  | 3'252       | 3'884 | 2'066      | 2'545 |
| 3    | 3'588       | 4'250 | 2'304      | 2'814 |
| 4    | 4'531       | 5'195 | 3'097      | 3'608 |
| 5    | 5'301       | 5'691 | 3'814      | 4'312 |

Die Reduktion des Gesamtkapitalsbestandes bewegt sich zwischen den Grenzen von 1'500 Fr./ha (1% Zins) und wenig mehr als 5'500 Fr./ha (Zinssatz von 5%), wenn diese Kalkulationen für Fichte 14 m durchgeführt werden. Im Falle der Buche 16 m liegt die Reduktion zwischen 800 Fr./ha (1%) und 4'300 Fr./ha (5%), also rund 1'000 Fr./ha tiefer. Die holzbestandliche Gesamtkapitalreduktion nimmt für das zwei- bis dreiprozentige Zinsspektrum Werte zwischen

2'500 bis 4'250 Fr./ha bei Fichte 14 m und 1'500 bis 2'800 Fr./ha bei Buche 16 m an. Es wird demnach deutlich, dass die Verkürzung der Länge der Produktionsperiode einer geringeren Kapitalintensität der Holzproduktion gleichzusetzen ist.

Nach Gleichung (3.3.12) sei der volkswirtschaftliche Gewinn als Summe aus realisiertem Kapitalgewinn (gesamte Reduktion der Holzkapitalbestände) und Bodenwertsteigerung darstellbar. Zu obigen Tabellenwerten sind die Aenderungen des Bodenwertes hinzuzurechnen, um Tabelle 4.5.10 der volkswirtschaftlichen Gewinne zu erhalten.

**Tabelle 4.5.10 Volkswirtschaftliche Gewinne (in Fr./ha)**

| Zins | Fichte 14 m |       | Buche 16 m |       |
|------|-------------|-------|------------|-------|
|      | 150         | 160   | 150        | 160   |
| 1    | 1'858       | 2'216 | 898        | 1'088 |
| 1.5  | 2'500       | 2'842 | 1'079      | 1'605 |
| 2    | 2'825       | 3'509 | 1'624      | 2'136 |
| 2.5  | 3'497       | 4'156 | 2'175      | 2'669 |
| 3    | 3'782       | 4'460 | 2'394      | 2'914 |
| 4    | 4'647       | 5'312 | 3'156      | 3'668 |
| 5    | 5'364       | 5'752 | 3'849      | 4'345 |

Für Fichte schwanken die Werte zwischen 1'900 Fr./ha (Zinssatz von 1%) und 5'800 Fr./ha (5%) je Hektare. Die Werte für Buche 16 m fallen wieder etwas geringer aus und betragen zwischen 900 Fr./ha (1%) und wenig mehr als 4'300 Fr./ha (5%) je Hektare. Für Zinssätze zwischen zwei und drei Prozent nehmen die volkswirtschaftlichen Gewinne Werte zwischen 2'800 und 4'500 Fr./ha für Fichte 14 m und 1'600 bis 2'900 Fr./ha für Buche 16 m an. Die durch die Maximierung des Bodenwertes ausgelösten Bestandesveränderungen gehen also mit Gewinnen von etwas mehr als 2'000 Fr. (Buche) oder gar 3'500 Fr. (Fichte) je Hektare Wald einher.

Erst die Relation des volkswirtschaftlichen Gewinnes zum Wert des Waldes vor der Produktionsveränderung erlaubt eine bessere Einschätzung der gefundenen Resultate.

**Tabelle 4.5.11 Relative Verbesserung (in %)**

| Zins | Fichte 14 m |       | Buche 16 m |       |
|------|-------------|-------|------------|-------|
|      | 150         | 160   | 150        | 160   |
| 1    | 24.0        | 28.7  | 11.6       | 14.1  |
| 1.5  | 48.5        | 55.2  | 21.0       | 31.2  |
| 2    | 73.1        | 90.9  | 42.0       | 55.3  |
| 2.5  | 113.1       | 134.4 | 70.3       | 86.3  |
| 3    | 146.8       | 173.1 | 92.9       | 113.1 |
| 4    | 240.5       | 274.9 | 163.3      | 189.8 |
| 5    | 347.0       | 372.1 | 249.0      | 281.1 |

Wie dem Abschnitt 3.3 dieses Teiles zu entnehmen ist, sollten die Opportunitätskosten des in die Holzproduktion investierten Kapitals nicht mit weniger als 2% angesetzt werden. Ein realer Zinssatz von 2 bis 3 Prozent könnte den wahren Alternativkosten nahe kommen. Die Verbesserungen liegen demnach zwischen knapp 50% und mehr als einer Verdoppelung (bis 170%) der ursprünglichen Waldwerte. Mögen die volkswirtschaftlichen Gewinne je Hektare bescheiden wirken, so ersieht man aus Tabelle 4.5.11, dass eindruckliche Besserstellungen der Einkommens- und Vermögenslage der Waldbesitzer realisiert werden können. Die Einnahmen aus der laufenden Holzproduktion werden langfristig sinken. Dieses Faktum ersieht man aus Tabelle 4.5.7, die die langfristigen Veränderungen des Waldwertes enthält und damit den Rückgang des Ertrages anzeigt. Dieser Verschlechterung der langfristigen Holzproduktionserträge stehen die zusätzlichen Erträge gegenüber, die der Rendite der durch den Kapitalabbau ermöglichten Alternativenanlagen entspringen. Die Nettholzzerlöse der Tabelle 4.5.8, die ihrem Umfang entsprechende Alternativenanlagen zulassen, übertreffen ausgeprägt die

Waldwertreduktion. Die Vermögenslage der Waldbesitzer hat sich verbessert und zwar im Ausmass des volkswirtschaftlicher Gewinn genannten Betrages. Das heisst, das ursprüngliche Kapital wird derart neuen Beschäftigungen zugewiesen, bis es in jeder Verwendungsart eine dem Zinssatz entsprechende Rendite abwirft; der ursprüngliche Zustand charakterisiert sich dadurch, dass die Rendite des vorhandenen Kapitals nicht die Höhe des herrschenden Zinssatzes erreicht.

Die Je-Hektar-Werte werden zu Totalwerten aufsummiert, wobei auf die tatsächlichen Nadel- und Laubholzanteile Rücksicht genommen wurde. In Tabelle 4.5.12 sind die volkswirtschaftlichen Gewinne für den öffentlichen Wald der Schweiz enthalten.

Im Jahre 1984 betrug die produktive Waldfläche des öffentlichen Waldes 725'411 ha, die sich modellmässig in 515'042 ha Nadel- und 210'369 ha Laubwald aufteilen lässt. Fichte 14 m und Buche 16 m repräsentieren diese Holzarten, mit "Mischung" ist der Wald in seiner Durchmischung von 71% Nadel- und 29% Laubholz gemeint. Nebst den Werten für die Ausgangsumtriebszeiten von 150 und 160 Jahren enthält die Tabelle 4.5.12 deren Durchschnitte (unter "155" aufgeführt). Der Gedanke dabei ist, dass die Durchschnitte den nicht direkt berechenbaren Werten aus der Umtriebszeit von 155 Jahren nahekommen. Im relevanten Zinsbereich (2 bis 3%) bewegt sich der volkswirtschaftliche Gewinn zwischen 2 und beinahe 3 Mrd. Fr. Der Flächenanteil der Laubbäume wurde mit 29% veranschlagt. Ihr Beitrag zur volkswirtschaftlichen Verbesserung fällt mit 20% unterproportional aus.

Mit dem gleichen Verfahren kann die Gesamtwertsteigerung des Privatwaldes berechnet werden. Obgleich die Nutzung im Privatwald in der Beobachtungsperiode tiefer und der Anteil des Nadelholzes an der Holzabgabe höher als dessen Flächenanteil war, werden mit den gleichen Je-Hektar-Werten die Totalzahlen ermittelt. Dieses Vorgehen drängt sich auf, da das Fehlen geeigneter Daten zur Privatwaldbewirtschaftung eine eigene Berechnung verunmöglicht. In Tabelle 4.5.13 sind die volkswirtschaftlichen Gewinne, die im Privatwald realisiert werden können, aus der Uebertragung der Verhältnisse des öffentlichen Waldes hervorgegangen.

Tabelle 4.5.12 Volkswirtschaftlicher Gewinn im öffentlichen Wald (in 1000 Fr.)

| 150         | 1 %       | 1.5 %     | 2 %       | 2.5 %     | 3 %       | 4 %       | 5 %       |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fichte 14 m | 956'948   | 1'287'605 | 1'454'994 | 1'801'102 | 1'947'889 | 2'339'400 | 2'762'685 |
| Buche 16 m  | 188'911   | 226'988   | 341'639   | 457'553   | 503'623   | 663'925   | 809'710   |
| Mischung    | 1'145'859 | 1'514'593 | 1'796'633 | 2'258'654 | 2'451'512 | 3'075'325 | 3'572'396 |
| 160         |           |           |           |           |           |           |           |
| Fichte 14 m | 1'141'333 | 1'463'749 | 1'807'282 | 2'140'515 | 2'297'087 | 2'735'903 | 2'962'522 |
| Buche 16 m  | 228'881   | 337'642   | 449'348   | 561'475   | 613'015   | 771'633   | 914'053   |
| Mischung    | 1'370'215 | 1'801'392 | 2'256'631 | 2'701'989 | 2'910'103 | 3'507'537 | 3'876'575 |
| "155"       |           |           |           |           |           |           |           |
| Fichte 14 m | 1'049'141 | 1'375'677 | 1'631'138 | 1'970'808 | 2'122'488 | 2'564'652 | 2'862'603 |
| Buche 16 m  | 208'896   | 282'315   | 395'494   | 509'514   | 558'319   | 717'779   | 861'882   |
| Mischung    | 1'258'037 | 1'657'992 | 2'026'632 | 2'480'322 | 2'680'807 | 3'282'431 | 3'724'485 |

Tabelle 4.5.13 Volkswirtschaftlicher Gewinn im Privatwald (in 1000 Fr.)

| 150         | 1 %     | 1.5 %   | 2 %     | 2.5 %     | 3 %       | 4 %       | 5 %       |
|-------------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fichte 14 m | 358'568 | 482'465 | 545'185 | 674'872   | 729'873   | 896'806   | 1'035'177 |
| Buche 16 m  | 106'216 | 127'625 | 192'088 | 257'261   | 283'165   | 373'295   | 455'264   |
| Mischung    | 464'784 | 610'090 | 737'274 | 932'133   | 1'013'038 | 1'270'101 | 1'490'440 |
| 160         |         |         |         |           |           |           |           |
| Fichte 14 m | 427'657 | 548'466 | 677'188 | 802'050   | 860'718   | 1'025'142 | 1'110'055 |
| Buche 16 m  | 128'690 | 189'841 | 252'648 | 315'692   | 344'671   | 433'855   | 513'931   |
| Mischung    | 556'347 | 738'307 | 929'836 | 1'117'742 | 1'205'388 | 1'458'996 | 1'623'986 |
| "155"       |         |         |         |           |           |           |           |
| Fichte 14 m | 393'112 | 515'466 | 611'187 | 738'461   | 795'295   | 960'974   | 1'072'616 |
| Buche 16 m  | 117'453 | 158'733 | 222'368 | 286'477   | 313'918   | 403'575   | 484'597   |
| Mischung    | 510'566 | 674'199 | 833'555 | 1'024'938 | 1'109'213 | 1'364'549 | 1'557'213 |

Nach Ott (1972) S.61 belaufen sich die modellmässigen Nadel- und Laubholzanteile des Privatwaldes auf 62% bzw. 38%. Von der Gesamtfläche (311'267 ha) des Jahres 1984 sind demnach 192'986 ha mit Nadelholzbeständen und 118'281 ha mit Laubholzbeständen bestockt. Die durchschnittlichen Verbesserungen von 0.8 bis 1.1 Mrd. Fr. stammen zu 27% vom Laubholz und zu 73% vom Nadelholz her.

Bei Annahme stationärer Anfangs- und Endzustände und bei Berücksichtigung der relevanten Zinssätze ermöglicht die Optimierung der Kapitalintensität ausgeprägte Verbesserungen der Vermögenssituation der Waldbewirtschafter. Im Privatwald könnte eine Verbesserung von rund einer Milliarde Franken erzielt werden. Eine Vermögenszunahme von 2.5 Mrd. Franken wäre im öffentlichen Wald zu erlangen.

Die Addition der Beträge des öffentlichen Waldes mit den Privatwaldwerten ergibt die Gesamttotale der Tabelle 4.5.14. Die produktive Waldfläche der Schweiz im Jahre 1984 betrug 1'036'678 ha, die zu 68.3% (708'028 ha) als Nadelwald und zu 31.7% (328'650 ha) als Laubwald aufgefasst werden können.

Die Verkleinerung der Kapitalintensität der Holzproduktion erlaubt eine finanzielle Besserstellung der schweizerischen Forstwirtschaft von ungefähr 3 bis 4 Mrd. Fr.. Etwa 23 Prozent, wiederum unterproportional, trägt der Laubwald zu diesem Resultat bei. Man beachte, dass alle Angaben von einem gleichgewichtigen stationären Zustand vor wie nach der Produktionsänderung ausgehen. Tatsächlich weicht die Realität von diesem Idealbild ab. Die folgenden zwei Abschnitte versuchen diesem Problem teilweise Rechnung zu tragen.

Tabelle 4.5.14 Volkswirtschaftlicher Gewinn im Gesamtwald (in 1000 Fr.)

| 150         | 1 %       | 1.5 %     | 2 %       | 2.5 %     | 3 %       | 4 %       | 5 %       |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fichte 14 m | 1'315'516 | 1'770'070 | 2'000'179 | 2'475'974 | 2'677'762 | 3'290'206 | 3'797'862 |
| Buche 16 m  | 295'128   | 354'613   | 533'728   | 714'814   | 786'788   | 1'037'219 | 1'264'974 |
| Mischung    | 1'610'644 | 2'124'683 | 2'533'907 | 3'190'788 | 3'464'550 | 4'327'426 | 5'062'836 |
| 160         |           |           |           |           |           |           |           |
| Fichte 14 m | 1'568'990 | 2'012'216 | 2'484'470 | 2'942'564 | 3'157'805 | 3'761'045 | 4'072'577 |
| Buche 16 m  | 357'571   | 527'483   | 701'996   | 877'167   | 957'686   | 1'205'488 | 1'427'984 |
| Mischung    | 1'926'561 | 2'539'699 | 3'186'467 | 3'819'731 | 4'115'491 | 4'966'533 | 5'500'561 |
| "155"       |           |           |           |           |           |           |           |
| Fichte 14 m | 1'442'253 | 1'891'143 | 2'242'325 | 2'709'269 | 2'917'783 | 3'525'625 | 3'935'220 |
| Buche 16 m  | 326'349   | 441'048   | 617'862   | 795'990   | 872'237   | 1'121'354 | 1'346'479 |
| Mischung    | 1'768'602 | 2'332'191 | 2'860'187 | 3'505'259 | 3'790'020 | 4'646'979 | 5'281'699 |

## 5.5 Sensitivitätsanalyse

Alle vorhergehenden Ergebnisse beziehen sich auf bloss eine Datenkonstellation. Es wurde davon ausgegangen, dass jährlich  $4.27 \text{ m}^3$  Derbholzmasse je Hektare geerntet werden, ein geernteter Kubikmeter Holz einen erntekostenfreien Erlös von 69.97 Fr. liefert, die Bestandesbegründungskosten 7'319 Fr./ha bei ursprünglich 150 Jahren Umtriebszeit bzw. 7'807 Fr./ha bei 160 Jahren betragen und dass die Managementkosten (d.h. Kosten für Aufsicht, Unterhalt und Verwaltung) 172.69 Fr./ha und Jahr betragen. Von vorneherein wurde lediglich der Zinssatz in einer hinreichenden Bandbreite einbezogen.

Bevor der volkswirtschaftliche Gewinne bei Einbezug der effektiven Altersstruktur ermittelt wird, soll in diesem Abschnitt die Sensitivität dieser Grösse auf Variationen der Eingabewerte untersucht werden. Es wird sich zeigen, dass die früher berechneten Werte wohl ändern, wenn die Datengrundlage variiert wird, die Wirkungsrichtung jedoch nicht wechselt. Nach wie vor steigt durch die Optimierung der Produktionsperiode, was bekanntlich auf die Optimierung der Kapitalintensität der Holzproduktion hinausläuft, das Gesamtvermögen der Waldbesitzer.

Bisher waren Zuwachs und Nutzung nicht ausgeglichen, was ein wahres stationäres Gleichgewicht verhinderte. Die Wachstumsfunktion und der jährliche Zuwachs bleiben als Repräsentanten der physischen Realität unverändert. Die Nutzung jedoch wird erhöht, damit jährlich der Zuwachs geerntet wird. Um der Mehrproduktion Rechnung tragen zu können, ohne die Umtriebszeiten, Boden-, Wald- und Holzkapitalwerte ändern zu müssen, wird der Nettoerlös je Kubikmeter auf 55.33 Fr. statt wie bisher auf 69.97 Fr. gesetzt. Bei einer Nutzung von  $4.27 \text{ m}^3/\text{ha}$  und dem Nettoerlös je Kubikmeter von 69.97 Fr. wird jährlich ein Hektarernteerlös (netto) von 298.77 Fr. erwirtschaftet. Gleiches trifft zu für die Nutzung von  $5.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  und den Nettoerlös von  $55.33 \text{ Fr./m}^3$ . Die Wirkung ist eine dreifache. Wie erwähnt, wird ein stationäres Gleichgewicht ermöglicht, der Fall sinkender Holzpreise und/oder steigender Erntekosten erfasst und die Sensitivität des volkswirtschaftlichen Gewinnes auf tiefere Nettoholzerlöse untersucht.

**Tabelle 4.5.15 Volkswirtschaftlicher Gewinn im Gesamtwald beim Nettoerlös von 55.33 Fr./m<sup>3</sup>**  
(in 1000 Fr.)

| 150         | 1 %     | 1.5 %     | 2 %       | 2.5 %     | 3 %       | 4 %       | 5 %       |
|-------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fichte 14 m | 506'948 | 710'860   | 940'969   | 1'178'867 | 1'380'655 | 1'771'486 | 2'079'478 |
| Buche 16 m  | 70'002  | 129'488   | 201'134   | 278'695   | 350'998   | 502'506   | 638'896   |
| Mischung    | 576'950 | 840'348   | 1'142'103 | 1'457'562 | 1'731'653 | 2'273'992 | 2'718'374 |
| 160         |         |           |           |           |           |           |           |
| Fichte 14 m | 777'415 | 972'830   | 1'207'188 | 1'438'005 | 1'653'245 | 2'045'493 | 2'357'025 |
| Buche 16 m  | 138'690 | 203'106   | 275'737   | 352'970   | 433'489   | 587'955   | 723'359   |
| Mischung    | 916'105 | 1'175'936 | 1'482'925 | 1'790'975 | 2'086'735 | 2'633'448 | 3'080'384 |
| "155"       |         |           |           |           |           |           |           |
| Fichte 14 m | 642'181 | 841'845   | 1'074'078 | 1'308'436 | 1'516'950 | 1'908'489 | 2'218'252 |
| Buche 16 m  | 104'346 | 166'297   | 238'436   | 315'833   | 392'244   | 545'230   | 681'127   |
| Mischung    | 746'528 | 1'008'142 | 1'312'514 | 1'624'268 | 1'909'194 | 2'453'720 | 2'899'379 |

Die volkswirtschaftlichen Gewinne, die diese Kosten- (wie bisher) und Erlösstruktur (55.33 statt 69.97 Fr./m<sup>3</sup>) zulässt, sind in Tabelle 4.5.15 aufgeführt, wobei lediglich die Gesamtwaldergebnisse zur Darstellung gelangen.

Obwohl der Nettoerlös je Kubikmeter Holzmasse lediglich um 21% abnahm, halbieren sich die volkswirtschaftlichen Gewinne. Die Gesamtverbesserung beträgt jetzt nur noch 1.3 bis 1.9 Mrd. Fr. Die Erklärung für die starke Abnahme ist einfach. Die Waldwerte und damit auch die jährlichen Einkommen wurden von der Verringerung des Nettoerlöses je Kubikmeter nicht berührt. Der Rückgang des volkswirtschaftlichen Gewinnes erklärt sich vollumfänglich aus der Verkleinerung des Bruttoholzerlöses durch den Abtrieb der Ueberbestände (minus 21%) bei zu tragenden Investitionskosten, die bei dieser Konstruktion keine Aenderung erfahren. Folglich sinkt die Differenz (d.h. der volkswirtschaftliche Gewinn) um deutlich mehr als 21%. Variationen des Nettoerlöses je Kubikmeter geernteter Holzmasse beeinflussen die Gesamtverbesserung überproportional

Als nächstes sollen die Auswirkungen von Variationen in den Bestandesbegründungskosten analysiert werden. In Tabelle 4.5.16 sind die Ergebnisse zusammengefasst, wobei nur die Durchschnitte aus 150 und 160 Jahren ursprünglicher Umtriebszeit tabelliert wurden.

Anstelle der ursprünglichen Bestandesbegründungskosten ( $k = 7'319$  Fr./ha für 150 Jahre bzw.  $k = 7'807$  Fr./ha für 160 Jahre) wurde die Berechnung für 50% tiefere und für 50% höhere Kosten durchgeführt. Tiefere Bestandesbegründungskosten haben tiefere Umtriebszeiten zur Folge. Der als Ueberbestand zu bezeichnende Holzvorrat wird grösser und die Investitionskosten ändern kaum. Aus Tabelle 4.5.16 geht hervor, dass die Halbierung dieser Kosten den volkswirtschaftlichen Gewinn um 2 Mrd. (um 50 bis 70%) erhöht. Für den primär interessierenden Zinsbereich (2 bis 3%) resultiert eine Gesamtwertsteigerung von 5 bis 6 Mrd. Fr.

Tabelle 4.5.16 Volkswirtschaftlicher Gewinn im Gesamtwald für unterschiedliche Bestandes-  
begründungskosten (in 1000 Fr.)

| $\emptyset$ k' = .5k  | 1 %       | 1.5 %     | 2 %       | 2.5 %     | 3 %       | 4 %       | 5 %       |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fichte 14 m           | 2'808'393 | 3'301'535 | 3'663'691 | 4'068'329 | 4'307'996 | 4'990'535 | 5'560'144 |
| Buche 16 m            | 806'507   | 1'013'392 | 1'228'658 | 1'339'249 | 1'552'543 | 1'850'628 | 2'108'125 |
| Mischung              | 3'614'900 | 4'314'927 | 4'892'349 | 5'407'578 | 5'860'539 | 6'841'164 | 7'668'269 |
| $\emptyset$ k' = 1.5k |           |           |           |           |           |           |           |
| Fichte 14 m           | 540'225   | 759'006   | 1'001'860 | 1'390'213 | 1'648'289 | 2'156'653 | 2'514'915 |
| Buche 16 m            | 0         | 59'486    | 315'175   | 272'122   | 357'571   | 535'864   | 713'828   |
| Mischung              | 540'225   | 818'492   | 1'317'035 | 1'662'335 | 2'005'860 | 2'692'517 | 3'228'743 |

Erhöhungen der Bestandesbegründungskosten sollten sich demgemäss in einer höheren Umtriebszeit und einem tieferen Holzüberbestand äussern. Die volkswirtschaftlichen Gewinne dieser neuen Konstellation werden tiefer als bisher ausfallen. Wie Tabelle 4.5.16 zeigt, halbieren sie sich gegenüber den ursprünglichen in Tabelle 4.5.14 ausgewiesenen Werten. Im mittleren Zinsbereich (2 bis 3%) sind Verbesserungen in der Grössenordnung von 1.3 bis 2 Mrd. Fr. erreichbar, sofern die Produktionsweise relativ zur Ertragslage optimiert wird.

Weitere Grössen, die auf ihre Gesamtwirkung hin untersucht werden können, sind die Zinssätze und die Managementkosten. Erstere wurden permanent über ein Spektrum sinnvoller Breite erfasst und letztere beeinflussen lediglich die Höhe des Boden- und des Waldwertes. Auf die Umtriebszeit, Holzkapitalwerte und volkswirtschaftlichen Gewinne wirken die Managementkosten jedoch nicht. Es erübrigt sich deshalb, an dieser Stelle Untersuchungen über diese Variablen anzustellen.<sup>12)</sup>

Die verwendeten Bonitäten (Fichte 14 m und Buche 16 m) und die Bewertung der Holzmassen bilden die zwei noch zu untersuchenden Grundgrössen. Fichte 14 m und Buche 16 m wurden zur Simulation der Wachstums- und Vorratsverhältnisse schweizerischer Wälder ausgewählt, weil ausgehend von den Ertragstafelwerten die geringsten Massenanpassungen vorzunehmen waren (vgl. Abschnitt 3.2 dieses Teiles). Höhere Bonitäten lassen sich nur über grössere Mengenvariationen in den durch die waldbaulichen Eckwerte gegebenen Rahmen einfügen. Im wesentlichen ändert die Relation zwischen verbleibendem zu ausscheidendem Bestand. Sollten die Rahmenwerte wie Zuwachs, Vorrat u.ä. unzutreffend sein und tatsächlich höhere Bonitäten mit höheren Zuwächsen und Beständen die schweizerischen Verhältnisse abbilden, so bewirken die aus den gegebenen Erlösen und Kosten berechenbaren Waldwerte, dass lediglich seitens der veränderten Bestandes-Durchforstungs-Relation Variationen der Resultate eintreten könnten. Die Wahl der Bonität beeinflusst die zeitliche Struktur der Produktion und wirkt sich demnach auf die Wahl der optimalen Produktionsperiodenlänge aus.

Die Tabelle 4.5.17 enthält einerseits die Ertragstafelwerte für Fichte 14 m und andererseits reduzierte Werte für Fichte 20 m.

Letztere wurden linear derart verkürzt, dass der Bestand im Alter von 120 Jahren zuzüglich der Summe der Durchforstungen mit der gleichartig gebildeten Holzmasse der Fichte 14 m übereinstimmt (d.h.  $315 + 325 = 355 + 285 = 640$ ). Damit können die Strukturen der Bestandes- und der Durchforstungsmassen zwischen den Bonitäten verglichen werden.

Tabelle 4.5.17 Vergleich der Fichtenbonitäten (in  $\text{m}^3/\text{ha}$ )

| t        | Fichte 14 m |               |      | "Fichte 20 m" |               |      |
|----------|-------------|---------------|------|---------------|---------------|------|
|          | f(t)        | $\Delta f(t)$ | x(t) | f(t)          | $\Delta f(t)$ | x(t) |
| 20       |             |               |      |               |               |      |
| 30       |             |               |      | 31            | 31            | 7    |
| 40       | 47          | 47            |      | 88            | 57            | 16   |
| 50       | 111         | 64            | 12   | 142           | 54            | 29   |
| 60       | 169         | 58            | 29   | 188           | 46            | 36   |
| 70       | 218         | 49            | 40   | 223           | 35            | 44   |
| 80       | 260         | 42            | 42   | 250           | 27            | 44   |
| 90       | 296         | 36            | 41   | 274           | 24            | 38   |
| 100      | 324         | 28            | 40   | 293           | 19            | 38   |
| 110      | 343         | 19            | 41   | 306           | 13            | 37   |
| 120      | 355         | 12            | 40   | 315           | 9             | 36   |
| $\Sigma$ |             | 355           | 285  |               | 315           | 325  |

Legende:            t: Zeitvariable in Jahren  
                   f(t): Bestand ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) im Jahre t  
                    $\Delta f(t) = f(t) - f(t-10)$ : Bestandeszuwachs während einer  
                                                  Dekade d.h. zwischen den Jahren  
                                                  t-10 und t.  
                   x(t): Durchforstung während der Jahre t-10 und t.

Wie der Vergleich zwischen Fichte 14 m und "Fichte 20 m" zeigt, werfen Bestände höherer Bonität relativ höhere Durchforstungs-

erträge ab, die zudem zeitlich früher kulminieren und in höheren Bestandesaltern (ab 90 Jahren) diejenigen tieferer Bonitäten gar unterschreiten. Die Bestandeszuwächse ( $\Delta f(t)$ ) fallen sowohl absolut wie relativ ( $\Delta f(t)/f(t)$ ) geringer aus, wenn eine Mengenanpassung nach Tabelle 4.5.17 für höhere Bonitäten vorgenommen wird. Da die Erträge früher eintreten, werden Bestände höherer Bonität höhere Bodenwerte ermöglichen. Die Wirkung auf die optimale Umtriebszeit, wenn eine höhere Bonität als Fichte 14 m den Berechnungen zugrunde gelegt wird, lässt sich direkt aus der Bedingung für den optimalen Bodenwert ablesen (Gleichung (3.3.2)). Diese besagt, dass die Summe aus Zuwachs ( $\Delta f(t)$ ) und Durchforstung ( $x(t)$ ) den aus der Verzinsung des Bestandes ( $i \cdot f(t)$ ), der Bodenrente und den Managementkosten gebildeten Kosten gleich werden muss. Aus den bisherigen Erörterungen geht hervor, dass die Erfüllung dieser Bedingung kürzere Umtriebszeiten für höhere Bonitäten erfordert.

Simulationen mit den in Tabelle 4.5.17 aufgeführten Bestandes- und Durchforstungsfunktionen und mit Kosten und Erlösen, die die heutigen Waldwerte abbilden, ergaben, dass die höhere Fichtenbonität um zehn Jahre kürzere Umtriebszeiten, um zehn Prozent höhere Bodenwerte und gleichfalls ungefähr um zehn Prozent höhere volkswirtschaftliche Gewinne ermöglicht. Die Verwendung von Bestandes- und Durchforstungsfunktionen höherer Bonität hat bei Fichte aber auch bei Buche, was hier nicht explizit dargestellt wurde, aber leicht mit Hilfe der Ertragstafeln nachvollzogen werden kann, eine Verstärkung und nicht eine Abschwächung der anzustrebenden Veränderungen (Umtriebszeit) und deren Auswirkungen (volkswirtschaftlicher Gewinn) zur Folge.

Der letzte Teil der Sensitivitätsanalyse betrifft die bereits in Abschnitt 4.2.1 erörterte Frage der Holzmassenbewertung. Bisher wurde jeder Kubikmeter Holzmasse als von gleichem Wert behandelt. Dem steht gegenüber, dass bei Auslesedurchforstung die hinweggenommene Holzmasse einen tieferen Wert als der verbleibende Bestand aufweist und dass mit zunehmendem Alter die Qualität im Sinne einer positiven Sortimentsentwicklung steigt. Durchforstungen wären also relativ tiefer und höhere Alter (Bestand wie Durchforstung) entsprechend stärker zu bewerten. Die folgende Tabelle

enthält zwei bewertete Bestandes- und Durchforstungsfunktionen. Die erste steht für den in dieser Arbeit durchwegs verwendeten Fall der einheitlichen Bewertung und die zweite simuliert eine die Sortimentsentwicklung und die Erntekosten berücksichtigende Wertbeimessung. Letztere wurde derart konstruiert, dass für den angenommenen ursprünglichen Umtrieb von 150 Jahren der gleiche Wert eines synchronisierten Waldes wie bei einheitlicher Holzmassenbewertung berechnet wird.

**Tabelle 4.5.18 Bewertungsvarianten für Fichte 14 m (in Fr./ha)**

| t   | einheitliche Bewertung |        | differenzierte Bewertung |        |
|-----|------------------------|--------|--------------------------|--------|
|     | f(t)                   | x(t)   | f(t)                     | x(t)   |
| 30  | 0                      | 0      | 0                        | 0      |
| 40  | 2'690                  | 0      | 0                        | 0      |
| 50  | 6'353                  | 687    | 4'248                    | -354   |
| 60  | 9'673                  | 1'660  | 9'204                    | 0      |
| 70  | 12'477                 | 2'289  | 12'744                   | 354    |
| 80  | 14'881                 | 2'404  | 16'638                   | 708    |
| 90  | 16'942                 | 2'347  | 19'824                   | 1'062  |
| 100 | 18'544                 | 2'289  | 22'372                   | 1'557  |
| 110 | 19'632                 | 2'347  | 24'072                   | 1'982  |
| 120 | 20'490                 | 2'289  | 25'346                   | 2'478  |
| 130 | 21'292                 | 2'117  | 26'479                   | 2'832  |
| 140 | 21'921                 | 2'060  | 27'399                   | 2'974  |
| 150 | 22'494                 | 1'832  | 28'249                   | 2'973  |
| Σ   |                        | 22'321 |                          | 16'566 |

Legende: t: Zeitvariable in Jahren

f(t): Wert des Bestandes (Fr./ha) im Jahre t

x(t): Wert der Durchforstung (Fr./ha) während der Jahre t-10 und t.

Die differenzierte Bewertung misst den Beständen höhere Werte und höhere relative Wertzuwächse bei. Die Durchforstungserträge werden gesamthaft geringer. Erst mit dem Alter von 120 Jahren beginnen

die differenziert die einheitlich bewerteten Durchforstungen zu überragen. Die erste Durchforstung im Alter von 50 Jahren wirft einen Verlust in der Höhe von 354 Fr./ha ab. Im sechzigsten Altersjahr decken die Erlöse aus dem Verkauf der Holzmasse gerade deren Erntekosten. Erst spätere Durchforstungseingriffe werfen positive erntekostenfreie Erlöse ab. Es sei nochmals betont, dass die differenzierte Bewertung lediglich simuliert und nicht einer realen Situation entnommen wurde.

Eine die Sortimentsentwicklung berücksichtigende Holzmassenbewertung wirkt in nicht eindeutiger Weise auf die Schlüsselgrösse, die optimale Umtriebszeit. Die höheren Bestandeswerte und insbesondere die höhere relative Wertzunahme wirken verlängernd auf die Umtriebszeit und die absolut wie relativ geringeren Durchforstungserträge führen zu kürzeren optimalen Produktionsperiodenlängen. Die Nettowirkung scheint eine Funktion der Zinshöhe zu sein. Die differenzierende Holzbewertung fordert höhere Umtriebszeiten für Zinssätze von 1 und 1.5% und um ungefähr zehn Jahre kürzere für Zinssätze von zwei und mehr Prozenten. Im forstwirtschaftlich plausiblen Zinsbereich von zwei bis drei Prozent wären also eher tiefere Umtriebszeiten als in Tabelle 4.5.1 angezeigt. Zudem gehen mit der differenzierenden Bewertung tiefere Boden-, tiefere Holzkapital- und damit natürlich auch tiefere Waldwerte einher. Dagegen steigen die volkswirtschaftlichen Gewinne, weil höherwertige Vorräte abgebaut werden, die tiefere Investitionskosten nach sich ziehen. Die einheitliche Holzmassenbewertung dieser Arbeit hat eher eine vorsichtige Schätzung aller Grundgrössen wie der optimalen Umtriebszeit, der Boden- und Waldwerte und der volkswirtschaftlichen Gewinne zur Folge.

Die Sensitivitätsanalyse hat gezeigt, dass wohl die Höhe des volkswirtschaftlichen Gewinnes teils recht ausgeprägt auf Veränderungen in den Variablen reagiert. In dem etwas engeren Zinsbereich von 2 bis 3% waren Minimalwerte von 1.3 und Maximalwerte von 6 Mrd. Fr. zu beobachten.

Das Hauptergebnis dieser Sensitivitätsanalyse besteht jedoch im Nachweis, dass der ursprünglich berechnete volkswirtschaftliche Gewinn auch nach recht starken Variablenänderungen zwar im Absolutbetrag variiert, aber als Gewinn erhalten bleibt. An der Tat-

sache, die Verringerung der Kapitalintensität in der Holzproduktion bewirke Vorteilhaftes, wird schwerlich vorbeizugehen sein.

### 5.6 Volkswirtschaftliche Gewinne bei Berücksichtigung der effektiven Altersstruktur

Sämtliche bisherigen Resultate gelten für synchronisierte Wälder. Explizit wurde angenommen, es habe vor der Verkürzung der Produktionsperiode bereits ein derartiger Aufbau bestanden und dies galt dann auch für die kürzere Umtriebszeit "unmittelbar" nach dem Abtrieb der Ueberbestände. Die Realität weicht von diesem Idealbild teilweise beträchtlich ab. Tabelle 4.3.1 enthält die effektiven Flächenanteile verschiedener Entwicklungsstufen, woraus hervorgeht, dass das "starke Baumholz" übervertreten ist (13 statt 6 Flächenanteilsprozente). Dem soll nun Rechnung getragen werden, indem effektiv anfallende Abtriebsmassen, effektiv zu bestockende Blößen und daraus erwachsende volkswirtschaftliche Gewinne berechnet werden.

Im synchronisierten Wald stehen Fläche und Bestandesalter in einem Verhältnis von eins zu eins. Die effektiven Flächenanteile der Entwicklungsstufen, wie sie in Tabelle 4.3.1 aufgeführt wurden, in effektive "Altersanteile" übersetzt, erlauben gemeinsam mit dem Holzmassentabellen (B.1.1 bis B.4.1 des empirischen Anhangs) die Quantifizierung der abzutreibenden Kubikmeter Derbholz. Die Berechnung erfolgt analog zu den Ausführungen in Abschnitt 4.1. Die einzige Abweichung besteht darin, dass jetzt die jeweiligen Flächenanteile zu berücksichtigen sind. Die ermittelten Holzmassen werden anschliessend mit dem erntekostenfreien Erlös (69.97 Fr./m<sup>3</sup>) gewichtet, um zu dem (Brutto-) Holzerlösen der Tabelle 4.5.19 zu gelangen.

Wenn von einer vorübergehenden Holzpreisdynamik abstrahiert wird, so zeigt die folgende Tabelle, dass für Zinssätze von 2 bis 3 Prozent in einem Umfange Bestandesänderungen vorgenommen werden müssen, die (Brutto-) Holzerlöse zwischen 7'000 und 14'000 Fr./ha abwerfen. Den ausgedehnteren Bestandesliquidationen stehen in selben Masse Bestandesneubegründungen gegenüber. Aus dem bekannten Alter-Fläche-Verhältnis von eins zu eins kann aus den abzutreibenden Altern auf die dann neu zu bestockenden Flächen geschlossen

werden. Die Investitionskosten lassen sich in der in Abschnitt 5.4 geschilderten Weise aus dem Holzkapitalwert optimal bewirtschafteter synchronisierter Wälder ermitteln.

**Tabelle 4.5.19 (Brutto-) Holzerlöse bei Berücksichtigung der effektiven Altersstruktur (in Fr./ha)**

| Zins | Fichte 14 m |        | Buche 16 m |        |
|------|-------------|--------|------------|--------|
|      | 150         | 160    | 150        | 160    |
| 1    | 8'145       | 8'012  | 5'474      | 5'366  |
| 1.5  | 10'035      | 9'886  | 5'474      | 7'077  |
| 2    | 10'035      | 11'685 | 7'220      | 8'734  |
| 2.5  | 12'073      | 14'056 | 8'901      | 10'327 |
| 3    | 12'073      | 14'056 | 8'901      | 10'327 |
| 4    | 14'390      | 16'259 | 10'714     | 12'429 |
| 5    | 16'467      | 16'259 | 12'778     | 14'385 |

**Tabelle 4.5.20 Investitionskosten bei Berücksichtigung der effektiven Altersstruktur (in Fr./ha)**

| Zins | Fichte 14 m |       | Buche 16 m |       |
|------|-------------|-------|------------|-------|
|      | 150         | 160   | 150        | 160   |
| 1    | 4'696       | 4'665 | 3'444      | 3'397 |
| 1.5  | 5'483       | 5'479 | 3'313      | 4'296 |
| 2    | 5'276       | 6'162 | 4'176      | 5'076 |
| 2.5  | 6'040       | 7'081 | 4'917      | 5'742 |
| 3    | 5'841       | 6'858 | 4'757      | 5'564 |
| 4    | 6'475       | 7'383 | 5'347      | 6'288 |
| 5    | 6'923       | 7'046 | 6'024      | 6'879 |

Die Investitionen, die der Bestandesabtrieb nach sich zieht, erfordern einen Aufwand von 4'600 bis 7'400 Fr. je Hektare Fichtenwald. Die Werte für Buche bewegen sich zwischen 3'300 und 6'900 Fr./ha. Im relevanten Zinsbereich (2 bis 3 Prozent) ist die Bandbreite möglicher Investitionskosten geringer. Für Fichte 14 m liegen diese zwischen 5'300 und 7'100 Fr./ha und für Buche 16 m zwischen 4'200 und 5'700 Fr./ha. Um zu den volkswirtschaftlichen Gewinnen der Tabelle 4.5.21 zu gelangen, muss ein weiteres Kosten- oder Ertragselement berücksichtigt werden. Die Verkürzung der Umtriebszeit löst nebst den Uebergangsmassnahmen (Abtrieb und Neubegründungen) und deren finanziellen Konsequenzen auch Veränderungen der langfristigen Waldwerte aus. Tabelle 4.5.7 zeigt, dass die Waldwerte sinken, wenn die Produktionsperiodenlänge reduziert wird. Von dem (Brutto-) Holzerlösen (Tabelle 4.5.19) sind die Investitionskosten (Tabelle 4.5.20) in Abzug zu bringen. Die volkswirtschaftlichen Gewinne der Tabelle 4.5.21 gehen nach dem Adjustieren obiger Nettoerträge mit der Waldwertverminderung hervor.

**Tabelle 4.5.21 Volkswirtschaftlicher Gewinne bei Berücksichtigung der effektiven Altersstruktur (in Fr./ha)**

| Zins | Fichte 14 m |       | Buche 16 m |       |
|------|-------------|-------|------------|-------|
|      | 150         | 160   | 150        | 160   |
| 1    | 3'020       | 3'352 | 1'725      | 1'897 |
| 1.5  | 3'848       | 4'154 | 1'957      | 2'551 |
| 2    | 4'231       | 5'000 | 2'650      | 3'228 |
| 2.5  | 5'195       | 6'121 | 3'354      | 3'911 |
| 3    | 5'533       | 6'486 | 3'619      | 4'201 |
| 4    | 6'946       | 7'880 | 4'664      | 5'398 |
| 5    | 8'195       | 8'416 | 5'811      | 6'518 |

In der Tabelle sind die Gewinne aufgeführt, die bei den verschiedenen Zinssätzen und deren zu erfüllenden Optimalitätserfordernis-

sen entstehen. Die übervertretenen massereichen Altbestände (starkes Baumholz) erhöhen den volkswirtschaftlichen Gewinn um etwa 50% relativ zur Verbesserung bei Annahme synchronisierter Wälder vor wie nach der Optimierung der Kapitalintensität der Holzproduktion. Für Zinssätze zwischen zwei und drei Prozenten ermöglicht Fichte 14 m volkswirtschaftliche Gewinne von ungefähr 5'500 Fr./ha und Buche 16 m von mehr als 3'000 Fr./ha.

Für die folgende Tabelle wurden die volkswirtschaftlichen Gewinne der Tabelle 4.5.21 in Relation zu den ursprünglichen Waldwerten (vgl. Anhang Tabellen B.1.9 bis B.4.9) gesetzt. Ein Vergleich der relativen Verbesserungen bei Berücksichtigung mit denjenigen bei Nichtberücksichtigung (Tabelle 4.5.11) der Altersstruktur verdeutlicht die Zunahme des volkswirtschaftlichen Gewinnes.

**Tabelle 4.5.22 Relative Verbesserung bei Berücksichtigung der effektiven Altersstruktur (in %)**

| Zins | Fichte 14 m |       | Buche 16 m |       |
|------|-------------|-------|------------|-------|
|      | 150         | 160   | 150        | 160   |
| 1    | 39.1        | 43.4  | 22.3       | 24.5  |
| 1.5  | 74.7        | 80.6  | 38.0       | 49.5  |
| 2    | 109.5       | 129.4 | 68.6       | 83.5  |
| 2.5  | 168.0       | 198.0 | 108.5      | 126.5 |
| 3    | 214.8       | 251.8 | 140.5      | 163.1 |
| 4    | 359.5       | 407.9 | 241.4      | 279.4 |
| 5    | 530.1       | 544.4 | 375.9      | 421.6 |

Bereits bei einem Zinssatz von 1% erhöht sich der Wert der bzw. aus der Holzproduktion um 40% bei Fichte und über 20% bei Buche. Dies entspricht nahezu einer Verdoppelung gegenüber einem synchronisierten Zustand, wie er früher als Berechnungsgrundlage diente. Im mittleren Zinsbereich von 2.5% liegt die relative Verbesserung deutlich über der in Abschnitt 5.4 berechneten.

Die Umrechnung der Werte von Tabelle 4.5.21 auf die tatsächlichen Flächenverhältnisse (515'042 ha Fichte, 210'369 ha Buche), wie sie den öffentlichen Wald kennzeichnen, führt zu Tabelle 4.5.23.

Man vergleiche die Angaben in Tabelle 4.5.23 mit den Werten und Erläuterungen zu Tabelle 4.5.12. Im wesentlichen haben sich die volkswirtschaftlichen Gewinne um 50 bis 60% vergrössert. Statt der bisherigen 2.0 bis 2.7 Mrd. Fr. scheint im öffentlichen Wald eine Vermögensverbesserung von 3.0 bis 3.9 Mrd. Fr. möglich zu sein. Diese Angaben beziehen sich auf den plausiblen Zinsbereich von 2 bis 3%. Für die folgende Tabelle wurden die je-Hektar-Gewinne auf die Fläche des Gesamtwaldes der Schweiz umgerechnet. Einerseits wird angenommen, dass die Nutzung und die Kosten und Erlöse im Privatwald denjenigen des öffentlichen Waldes entsprechen. Andererseits wird die Annahme gemacht, dass der Gesamtwald modellmässig aus 708'028 ha Fichten- und 328'650 ha Buchenbeständen aufgebaut sei.

Die Werte in Tabelle 4.5.24 fallen auch diesmal rund 50% höher aus als in Tabelle 4.5.14. Im primär interessierenden Zinsbereich bewirkt die Optimierung der Produktionsperiodenlänge eine Verbesserung der Vermögenslage von 4.2 bis 5.5 Mrd. Fr. Das heisst, die Einkommenslage der Holzproduzenten liesse sich pro Jahr um 84 bis 165 Mio. Fr. erhöhen, wenn die Kapitalintensität der Holzproduktion den volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen angepasst wird.

**Tabelle 4.5.23 Volkswirtschaftlicher Gewinn im öffentlichen Wald bei Berücksichtigung der effektiven Altersstruktur (in 1000 Fr.)**

| 150         | 1 %       | 1.5 %     | 2 %       | 2.5 %     | 3 %       | 4 %       | 5 %       |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fichte 14 m | 1'555'427 | 1'981'882 | 2'179'143 | 2'675'643 | 2'849'727 | 3'577'482 | 4'220'769 |
| Buche 16 m  | 362'887   | 411'692   | 557'478   | 705'578   | 761'325   | 981'161   | 1'222'454 |
| Mischung    | 1'918'313 | 2'393'574 | 2'736'621 | 3'381'221 | 3'611'053 | 4'558'643 | 5'443'223 |
| 160         |           |           |           |           |           |           |           |
| Fichte 14 m | 1'726'421 | 2'139'484 | 2'575'210 | 3'152'572 | 3'340'562 | 4'058'531 | 4'334'593 |
| Buche 16 m  | 399'070   | 399'070   | 679'071   | 822'753   | 883'760   | 1'135'572 | 1'371'185 |
| Mischung    | 2'125'491 | 2'538'554 | 3'254'281 | 3'975'325 | 4'224'323 | 5'194'103 | 5'705'779 |
| "155"       |           |           |           |           |           |           |           |
| Fichte 14 m | 1'640'924 | 2'060'683 | 2'377'176 | 2'914'108 | 3'095'145 | 3'818'006 | 4'277'681 |
| Buche 16 m  | 380'978   | 405'381   | 618'274   | 764'165   | 822'543   | 1'058'366 | 1'296'820 |
| Mischung    | 2'021'902 | 2'466'064 | 2'995'451 | 3'678'273 | 3'917'688 | 4'876'373 | 5'574'501 |

Tabelle 4.5.24 Volkswirtschaftlicher Gewinn im Gesamtwald bei Berücksichtigung der effektiven Altersstruktur (in 1000 Fr.)

| 150         | 1 %       | 1.5 %     | 2 %       | 2.5 %     | 3 %       | 4 %       | 5 %       |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fichte 14 m | 2'138'245 | 2'724'492 | 2'995'666 | 3'678'205 | 3'917'519 | 4'917'962 | 5'802'289 |
| Buche 16 m  | 566'921   | 643'168   | 870'923   | 1'102'292 | 1'189'384 | 1'532'824 | 1'909'785 |
| Mischung    | 2'705'166 | 3'367'660 | 3'866'589 | 4'780'498 | 5'106'903 | 6'450'786 | 7'712'075 |
| 160         |           |           |           |           |           |           |           |
| Fichte 14 m | 2'373'310 | 2'941'148 | 3'540'140 | 4'333'839 | 4'592'270 | 5'579'261 | 5'958'764 |
| Buche 16 m  | 623'449   | 623'449   | 1'060'882 | 1'285'350 | 1'380'659 | 1'774'053 | 2'142'141 |
| Mischung    | 2'996'759 | 3'564'597 | 4'601'022 | 5'619'190 | 5'972'928 | 7'353'313 | 8'100'904 |
| "155"       |           |           |           |           |           |           |           |
| Fichte 14 m | 2'255'777 | 2'832'820 | 3'267'903 | 4'006'022 | 4'254'894 | 5'248'612 | 5'880'527 |
| Buche 16 m  | 595'185   | 633'309   | 965'902   | 1'193'821 | 1'285'022 | 1'653'438 | 2'025'963 |
| Mischung    | 2'850'962 | 3'466'129 | 4'233'806 | 5'199'844 | 5'539'916 | 6'902'050 | 7'906'489 |

## 5.7 Zusammenfassung der Resultate

In diesem letzten Abschnitt des fünften Kapitels werden die wichtigsten Resultate zusammengefasst, um ohne langwieriges Suchen die Hauptergebnisse zur Hand zu haben. Die nachfolgend ausgewiesenen Werte wurden derart kondensiert, dass sie jetzt die Verhältnisse für eine ursprüngliche Umtriebszeit von 155 Jahren abbilden. Das heisst, aus den Ergebnissen zu 150 und 160 Jahren Produktionsperiodenlänge werden Durchschnitte gebildet. Des weiteren beschränkt sich die Darstellung auf die Zinssätze von 2, 2.5 und 3 Prozent. Es wurde mehrfach erwähnt, dass mittels dieser Sätze die Opportunitätskosten des Forstkapitals recht gut erfasst sein dürften. Nach wie vor gliedern sich die Je-Hektar-Werte nach den Baumarten.

Tabelle 4.5.25 fasst die Ergebnisse zu Fichte 14 m Oberhöhe im 50. Jahr zusammen. Der Berechnung lagen folgende Ausgangsgrössen zugrunde: eine Umtriebszeit von 155 Jahren im Urzustand, eine nachhaltige Erntemenge von  $4.27 \text{ m}^3/\text{ha}$  und Jahr, ein erntekostenfreier Erlös von  $69.97 \text{ Fr./m}^3$ , Bestandesbegründungskosten von  $7'319 \text{ Fr./ha}$  bei 150 Jahren bzw. von  $7'807 \text{ Fr./ha}$  bei 160 Jahren angenommener, originärer Umtriebszeit und Managementkosten (d.h. Kosten für Aufsicht, Unterhalt und Verwaltung) von  $172.69 \text{ Fr./ha}$ . Die folgende Tabelle enthält nur Angaben, die sich in diesem Kapitel als Originalwerte finden lassen; man konsultiere auch den Anhang B, wenn weiteres und weitergehendes Zahlenmaterial gefragt sein sollte.

Im Falle der Fichte verlangt die Optimierung der Kapitalintensität eine Verkürzung der Umtriebszeit um 50 Jahre. Statt wie bisher mit 155 Jahren sollte der Wald mit Produktionsperiodenlängen von ungefähr 105 Jahren bewirtschaftet werden. Diese Massnahme erlaubt maximale Bodenwerte. Gegenüber dem Ursprungszustand steigt der Wert des Bodens um  $250 \text{ Fr./ha}$  und beträgt dann minus  $11'200 \text{ Fr./ha}$ . Dieser negative Wert zeigt an, dass die Aufnahme der Waldbewirtschaftung auf gegenwärtig holzleerem Boden Verluste verursacht. Sämtliche auf die Gegenwart abdiskontierte Kosten und Erlöse der Zukunft sind deutlich negativ, was im Bodenwert zum Ausdruck kommt.

**Tabelle 4.5.25 Zusammenfassung der Ergebnisse zu Fichte 14 m**

| Zinssatz                | 2%      | 2.5%    | 3%      | Ø aus 2-3% |
|-------------------------|---------|---------|---------|------------|
| Optimale Umtriebszeit   | 110     | 100     | 100     | ~105       |
| Bodenwert               | -11'122 | -11'245 | -11'186 | -11'184    |
| Bodenwertänderung       | 314     | 259     | 202     | 258        |
| Holzkapitalwert         | 14'461  | 13'490  | 13'056  | 13'669     |
| Holzkapitalwertänderung | -840    | -1'106  | -908    | -951       |
| Waldwert                | 3'339   | 2'245   | 1'871   | 2'485      |
| Waldwertänderung        | -526    | -847    | -706    | -693       |
| syn. volksw. Gewinn     | 3'167   | 3'827   | 4'121   | 3'705      |
| eff. volksw. Gewinn     | 4'616   | 5'658   | 6'010   | 5'428      |
| eff. VG in % Waldwert*  | 119.4   | 183.3   | 233.2   | 170.8      |

\*: ursprünglicher Waldwert: = Waldwert minus Waldwertänderung

Masseinheiten: mit Ausnahme der Umtriebszeit (in Jahren) und dem Verhältnis des volkswirtschaftlichen Gewinnes zum ursprünglichen Waldwert sind alle Angaben in Fr./ha.

Der Je-Hektar-Wert synchronisierter Bestände, diese sind altersmässig perfekt aufgebaut und weisen ein Höchstalter von 105 Jahren auf, beträgt etwa 13'700 Fr. Relativ zum anfänglichen synchronisierten Bestand sollte der Holzkapitalbestand um 950 Fr./ha geringer sein. Die Summe aus Boden- und Holzkapitalwert bildet den Waldwert, der im Optimum ungefähr 2'500 Fr./ha betragen dürfte. Auch dieser Wert ist geringer als in anfänglicher Bewirtschaftungsweise. Die Reduktion hat den Umfang von 700 Fr./ha.

Der volkswirtschaftliche Gewinn, der seine Entstehung den Massnahmen verdankt, die durch die Optimierung der Kapitalintensität der Holzproduktion ausgelöst werden, wurde aufgrund zweier Berechnungsverfahren doppelt in Tabelle 4.5.25 aufgeführt. Die ersten tieferen Ziffern zeigen die mögliche Vermögenszunahme der Waldbe-

sitzer, wenn vor wie nach der Umtriebszeitanpassung synchronisierte Bestände vorausgesetzt werden. Unter dieser Annahme nimmt der volkswirtschaftliche Gewinn einen Wert von 3'700 Fr./ha an. Wird jedoch mit der tatsächlichen Altersstruktur gerechnet, wie sie in Tabelle 4.3.1 erscheint und in Abschnitt 5.6 in die Berechnungen einbezogen wurde, erhöhen sich diese Gewinne um 1'700 Fr./ha und betragen damit etwa 5'400 Fr./ha. Diese Zunahme erklärt sich mit dem relativ höheren Anteil alter, abzutreibender Bestände. Relativ zur heutigen Waldbewirtschaftungspraxis liesse sich die Vermögenslage der öffentlichen und privaten Waldbesitzer um 170% verbessern, wie dies aus der letzten Zeile der Tabelle 4.5.25 hervorgeht.

Den Berechnungen zu Buche 16 m lagen die selben Ausgangsgrössen wie für Fichte 14 m zugrunde. Auch für Tabelle 4.5.26 soll nur der Zinsbereich zwischen zwei und drei Prozent aufgeführt werden. Das arithmetische Mittel der drei Ergebnisse findet sich in der letzten Spalte.

**Tabelle 4.5.26 Zusammenfassung der Ergebnisse zu Buche 16 m**

| Zinssatz                | 2%      | 2.5%    | 3%      | Ø aus 2-3% |
|-------------------------|---------|---------|---------|------------|
| Optimale Umtriebszeit   | 120     | 110     | 110     | ~115       |
| Bodenwert               | -10'857 | -11'036 | -11'016 | -10'969    |
| Bodenwertänderung       | 135     | 117     | 96      | 116        |
| Holzkapitalwert         | 14'309  | 13'476  | 13'048  | 13'611     |
| Holzkapitalwertänderung | -547    | -769    | -639    | -652       |
| Waldwert                | 3'452   | 2'439   | 2'033   | 2'641      |
| Waldwertänderung        | -413    | -652    | -544    | -536       |
| syn. volksw. Gewinn     | 1'880   | 2'422   | 2'654   | 2'319      |
| eff. volksw. Gewinn     | 2'939   | 3'633   | 3'910   | 3'494      |
| eff. VG in % Waldwert*  | 76.0    | 117.5   | 151.7   | 110.0      |

\*: ursprünglicher Waldwert: = Waldwert minus Waldwertänderung

Masseinheiten: - wie in Tabelle 4.5.25

Die höheren Durchforstungserträge der Buche relativ zur Fichte wirken sich in höheren optimalen Umtriebszeiten und damit in geringeren Korrekturmassnahmen aus. Sämtliche Wertänderungen sind bei Buche geringer als bei Fichte. Gleiches gilt demnach für die volkswirtschaftlichen Gewinne.

Bei der Buche sollte eine optimale Umtriebszeit von ungefähr 115 Jahren angestrebt werden. Eine Verkürzung um 40 Jahre wäre demnach angezeigt. Im Optimum stellt sich der Bodenwert auf minus 11'000 Fr./ha. Buchenwälder könnten je Hektare um gesamthaft 200 Fr. ertragreicher (besser: weniger verlustträchtig) sein als Fichtenbestände. Die Optimierung der Kapitalintensität der Buchenholzproduktion schlägt sich in einem um 120 Fr. höheren Bodenwert nieder. Synchronisierte Bestände wären im Optimum 13'600 Fr./ha wert. Relativ zum ursprünglichen Zustand, der sich auch durch Synchronität der Bestände auszeichnet, dies eine Annahme, wäre ein Holzkapitalabbau von 650 Fr./ha vorzunehmen. Der Wert des Waldes reduziert sich im Zuge der Kapitalanpassung um 540 Fr./ha auf die neue Höhe von etwa 2'600 Fr./ha.

Unterstellt man synchronisierte Anfangs- und Endzustände, so hat die Anpassung der Kapitalintensität einen volkswirtschaftlichen Gewinn von 2'300 Fr./ha zur Folge. Dieser Wert kann gar mit 3'500 Fr./ha veranschlagt werden, wenn die tatsächliche Altersstruktur berücksichtigt wird. In Relation zum ursprünglichen Waldwert gesetzt, zeigt es sich, dass das in der Holzproduktion steckende Vermögen durch eine weniger kapitalintensive Holzproduktion verdoppelt werden könnte. Der genaue Wert beträgt 110%.

Die je-Hektar-Werte können mit den tatsächlichen Flächen multipliziert werden, um die volkswirtschaftlichen Gewinne im gesamten Schweizer Wald zu erhalten. Grundlage bilden die Flächenangaben der Forststatistik zum Jahr 1984. Der öffentliche Wald, der sich gemäss der Statistik über 725'411 ha erstreckt, kann modellhaft in 515'042 ha Nadel- und 210'369 ha Laubwald aufgeteilt werden. Die Gesamtfläche des Privatwaldes wird mit 311'267 ha veranschlagt, die sich in 192'986 ha Nadel- und 118'281 ha Laubwald aufteilen lassen. Gesamthaft umfasst der Schweizer Wald 1'036'678 ha mit 708'028 ha Fichten- und 328'650 ha Buchenwald als Modellannahme. Die in Tabelle 4.5.27 aufgelisteten Werte gingen aus der Gewich-

tung der Fichtengewinne mit den Nadelwaldflächen und der Gewichtung der Buchengewinne mit den Laubwaldflächen hervor. Anschliessend wurden die zwei Produkte addiert.

Die Durchschnitte, die einen 155 jährigen Umtrieb approximieren, fanden zur Konstruktion der Tabelle 4.5.27 Verwendung. Die obere Hälfte enthält die volkswirtschaftlichen Gewinne, wenn synchronisierte Anfangs- und Endbestände angenommen werden, die untere die Gewinne bei Berücksichtigung der effektiven Altersstruktur schweizerischer Wälder. Wiederum fand eine Beschränkung auf das ökonomisch besser interpretierbare Zinsspektrum statt. Die letzte Kolonne hat die aus den Zeilenwerten gebildeten arithmetischen Mittel zum Inhalt.

**Tabelle 4.5.27 Volkswirtschaftliche Gewinne nach Eigentümer**  
(in Mio Fr.)

| Zins<br>Eigentümer | 2%    | 2.5%  | 3%    | Ø aus 2-3% |
|--------------------|-------|-------|-------|------------|
| synchronisiert     |       |       |       |            |
| öffentlich         | 2'027 | 2'480 | 2'681 | 2'396      |
| privat             | 834   | 1'025 | 1'109 | 989        |
| gesamt             | 2'860 | 3'505 | 3'790 | 3'385      |
| effektiv           |       |       |       |            |
| öffentlich         | 2'995 | 3'678 | 3'918 | 3'530      |
| privat             | 1'239 | 1'522 | 1'622 | 1'461      |
| gesamt             | 4'234 | 5'200 | 5'540 | 4'991      |

Die volkswirtschaftlichen Gewinne, die im öffentlichen Wald zu realisieren sind, lassen sich bei Annahme synchronisierten Bestände zu beginn wie nach der Optimierung mit 2.4 Mrd. Fr. veranschlagen. Im Privatwald, der flächenmässig kleiner als der öffentliche Wald ist, könnte in diesem Falle 1 Mrd. Fr. aktiviert

werden. Auf die gesamte schweizerische Waldfläche bezogen wären Verbesserungen um 3.4 Mrd. Fr. möglich. Wird die effektive Altersstruktur in Rechnung gestellt, so erhöhen sich wie bereits in den Tabellen 4.5.25 und 4.5.26 auch die Werte obiger Tabelle. Die Kapitalmenge, die dem öffentlichen Wald entzogen werden kann, beläuft sich in diesem Falle auf über 3.5 Mrd. Fr.. Mehr als 1.4 Mrd. Fr. liesse sich aus dem Privatwald herauslösen. Gesamthaft könnten 5 Mrd. Fr. lediglich durch die Anpassung der Kapitalintensität der Holzproduktion einer nutzbringenderen Beschäftigung zugewiesen werden. Das blosse Stehenlassen alter Bestände bindet also eine Kapitalmenge des oben berechneten Umfanges, die eigentlich in anderer Form im Forstbetrieb investiert werden könnte. Beispielsweise wären Erschliessungsinvestitionen, Investitionen in den Maschinenpark oder ähnliches denkbar.

#### Fussnoten zu Teil IV

- 1) Bei Naturverjüngung trifft dieses Argument nicht zu. Die berechneten Grössen, Eingabewerte und Resultate, gelten jeweils für den schweizerischen Durchschnitt, der sowohl natürliche wie "künstliche" Verjüngung einschliesst.
- 2) Auch in diesem Teil wird der Begriff des synchronisierten Waldes anstelle des gleichbedeutenden des Normalwaldes verwendet.
- 3) Man erinnere sich an die Variable T des theoretischen Teiles. In synchronisierten Wäldern bezeichnet diese Variable sowohl die Produktionsperiodenlänge in Jahren als auch die Fläche als Anzahl Parzellen. Eine Entwicklungsstufe, die die Alter zwischen  $T_1$  und  $T_2$  (mit  $0 \leq T_1 < T_2 \leq T$ ) enthält, erstreckt sich folglich über  $T_2 - T_1$  Parzellen. Sind die Umtriebszeit und die Flächenanteile verschiedener Entwicklungsstufen, nicht aber deren Altersjahre explizit bekannt, so können die die Entwicklungsstufe abgrenzenden Jahre ermittelt werden.
- 4) Sowohl Fichte 12 m wie Fichte 16 m weichen stärker vom Effektivzuwachs ab. Gleiches gilt für Buche 14 m und Buche 18 m relativ zu Buche 16 m. Fichte 14 m und Buche 16 m sind die genauesten Approximationen.
- 5) Die Zahlen entstammen drei Quellen. Der Landesindex der Konsumentenpreise wurde dem Statistischen Jahrbuch der Schweiz (diverse Jahrgänge) entnommen. Die nämliche Publikation und die Monatsberichte der Nationalbank lieferten die Zinsdaten. Die nominellen Renditewerte für die Perioden 1926 bis 1979 und 1943 bis 1979 entstammen Rätzer (1983). Die realen jährlichen Renditen sind durchwegs aus eigenen Berechnungen hervorgegangen.
- 6) Tabelle 4.3.7 stimmt mit Tabelle B.1.1 des Anhangs B.1 überein. Anhang B.2 enthält alle Berechnungen zu Fichte 14 m Oberhöhe im 50. Jahr und 160 Jahren Umtriebszeit. Die Werte für Buche 16 m entnehme man den Anhängen B.3 und B.4, die Produktionsperiodenlängen von 150 und 160 Jahren abdecken.

- 7) Es zeigt sich damit, dass der Vergleich zweier stationärer Zustände vom Holzmarkt zu abstrahieren vermag. Wenn eine Verkürzung der ursprünglichen Umtriebszeit von 150 Jahren auf 120 Jahre angestrebt wird, so sind die langfristigen Holzpreiswirkungen vernachlässigbar klein. Lediglich bei der Modellierung der Uebergangsdynamik, die mit höheren Holzmassen zu tun haben wird, wären Holzpreisreaktionen relevant.
- 8) Man vergleiche dazu in Abschnitt 3.1.1 die Optimalitätsbedingung in Gleichung (3.3.2). Weitere Einsicht in die entgegengesetzte Wirkungsweise beider Effekte kann durch die im Anhang dargestellten Optimalitätsbedingungen gewonnen werden. Insbesondere die Gleichung (A.1.3a) mag sich dabei als hilfreich erweisen.
- 9) Die Sensitivitätsanalyse (Abschnitt 5.5 dieses Teiles) enthält eine Diskussion möglicher Wirkungen, die von einer sortimentsdifferenzierenden Bewertung der Holzmassen ausgeht.
- 10) Ein stehender oder durchforsteter Kubikmeter Holzmasse wird entsprechend der Nutzungs-Zuwachs-Relation bewertet. Dem Zuwachs von  $5.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  steht eine Nutzung von  $4.27 \text{ m}^3/\text{ha}$  gegenüber; 80% des Zuwachses wird genutzt. Da ein geernteter Kubikmeter netto 69.97 Fr. erbringt, besitzt ein stehender, künftig im Umfang von 80% genutzter Kubikmeter lediglich einen Wert von 55.33 Fr. Die Massen, die aus Vorrats- und Zuwachsdaten rekonstruiert werden, tragen Werte, die von Kosten-, Erlös- und Nutzungsdaten herkommen. Die effektive Verwendung der Bestände zieht also eine entsprechende Bewertung nach sich.
- 11) Nebst den Erörterungen im Abschnitt 3.2 des theoretischen Teiles kann dem Abschnitt 4.3.4 des empirischen Teiles die Berechnungsweise der Nettoholzerlöse entnommen werden. Die Gleichung (4.4.7) zeigt, dass aus den stationären Holzvorräten je Hektare, den Umtriebszeiten (alt wie neu) und dem erntekostenfreien Erlös je Kubikmeter Holzmasse die Bruttoholzerlöse des Uebergangs resultieren. Nach Abzug der durch den Abtrieb von Ueberbeständen ausgelösten Investitionskosten (Berechnung in Gleichung (4.4.8)) verbleiben die Nettoholzerlöse.

- 12) Die Wirkungen, die von Variationen der Grunddaten ausgehen, wurden theoretisch hergeleitet und sind im Anhang A im Abschnitt 1.3 "Komparative Statik" nachzulesen.

## V. TEIL    ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

### 1. Einleitung

Im fünften und letzten Teil dieser Arbeit wird der Inhalt möglichst einfach zusammengefasst und denkbare forstpolitische Implikationen werden erörtert. Aus der Problemstellung (I. Teil) ging hervor, dass der explizite Einbezug eines positiven Zinssatzes zu Waldwert-Bestandeswert-Konstellationen führt, die einer näheren ökonomischen Untersuchung bedürfen. Der Zinssatz erweist sich als die kritische Variable, die durch ihre Berücksichtigung das Problem eigentlich erst manifest werden lässt. Der Marktwert des stehenden Holzvorrates übertrifft den Wert des Waldes bei weitem. Dies führt zu zwei Hypothesen, die sich nicht gegenseitig auszuschliessen brauchen: die Werterelation weist auf suboptimale Umtriebszeiten hin und/oder die Bodenwerte sind kleiner als Null.

In Anbetracht der langen Produktionszeiträume der Waldwirtschaft drängt sich ein Element geradezu auf, das eine Verknüpfung zwischen einer heutigen Bestandesbegründung und der Ernte dieses Bestandes in mehr als hundert Jahren herstellt. Der Zinssatz leistet diese Aufgabe in idealer Weise, erlaubt er doch den Vergleich heutiger Ausgaben mit Einnahmen der fernen Zukunft. Aufgrund des Zeitcharakters der Holzproduktion findet der Zinssatz zwangsläufig Eingang in die ökonomische Untersuchung.

Es ist ein Anliegen dieser Arbeit, mittels der Zinsrechnung die vorteilhafteste Umtriebszeit, den Wert des Bodens und den Kapitalwert des Holzbestandes zu berechnen, um die Bestandeswert-Waldwert-Relation erklären zu können. Das Einfügen des Zinssatzes in eine forstökonomische Untersuchung wirft einerseits Probleme auf, die sich sonst kaum stellen, und bietet andererseits Lösungen an, die die finanzielle Situation der Forstbetriebe verbessern helfen.

Im nächsten Kapitel folgt eine Zusammenfassung der theoretischen und empirischen Ueberlegungen und Ergebnisse dieser Arbeit. Die Darstellung wurde bewusst knapp und unmathematisch gehalten. Im dritten Kapitel werden Fragen der Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen untersucht, da die tiefgreifenden strukturellen Veränderungen nicht sofort durchgeführt werden können. Erläuterungen

zu den finanziellen und qualitativen Konsequenzen schliessen das Kapitel ab.

## 2. Zusammenfassung der Ergebnisse

### 2.1 Voraussetzungen und Annahmen

Aus der Fülle produktiver Leistungen eines Waldes wird in der vorliegenden Arbeit bloss ein Bereich näher untersucht. Im Vordergrund steht die Holzproduktion, die sich praktisch als einzige produktive Tätigkeit in der Buchhaltung der Forstbetriebe niederschlägt und damit über finanziellen Gewinn oder Verlust entscheidet. Das Gedeihen der Forstbetriebe hängt also von den Erlösen auf dem Holzmarkt und den Kosten der Holzerzeugung ab. Produktion findet auch auf andere Weise statt. Ein Waldbestand gewährt Schutz vor Lawinen, Bodenerosion und anderem, dient als Erholungsraum, trägt zur Luftreinhaltung und Wasserregulierung bei und gliedert die Landschaft, um nur die wichtigsten Produktionsbereiche zu erwähnen. Für Bannwälder, Wälder in Steilhängen oder in Stadtnähe dominieren diese zusätzlichen produktiven Leistungen höchstwahrscheinlich den Wert der reinen Holzerzeugung. An der Tatsache, dass aus finanzieller Sicht der Forstbetriebe gegenwärtig bloss die Produktion von Holz relevant sein kann, ändern die oben beschriebenen externen Effekte nichts. Zudem besteht höchstens eine schwache Wechselwirkung zwischen der technischen Ausgestaltung und Intensität der Holzproduktion und den positiven Externalitäten des Waldbestandes. Die Ausnahmen dürften die Regel bestätigen. Für Bannwälder in extremen Steillagen, die hauptsächlich dem Lawinenschutz dienen, könnte die Palette möglicher Holzproduktionstechniken, die die Erfüllung der Schutzfunktion garantieren, eingeschränkt sein. Ähnliches könnte auf Wälder in Naherholungsgebieten zutreffen, wo im Interesse der Funktionserfüllung eine tiefe Holznutzung und alte Bestände dem finanziellen Optimum vielleicht vorzuziehen wären. Die weitgehende Unabhängigkeit dieser Produktionsbereiche erlaubt es, die Untersuchung auf den forstbetrieblich unmittelbar interessierenden Teil, nämlich die Holzproduktion, zu beschränken.

Ist es gegenwärtig überhaupt opportun, die langfristige Holzproduktion angesichts der verbreitet aufgetretenen Waldschäden zu untersuchen? Die Erkenntnisse über die künftige Entwicklung des

Waldsterbens sind äusserst vage. In den letzten Jahren trat dieses Phänomen überhaupt erst auf und nahm in der Folge ernsthaftere Ausmasse an, um sich in jüngster Vergangenheit schliesslich zu stabilisieren. Die Ursache der Waldschäden scheint die Luftverschmutzung zu sein. Bezüglich der Schadstoffemissionen wurden und werden auch künftig Massnahmen ergriffen, die auf eine langfristige Verbesserung des Waldzustandes hoffen lassen. Es besteht somit Grund zur Annahme, dass die reine Masseleistung schweizerischer Wälder auch in Zukunft das Niveau der Vergangenheit erreichen wird. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, im Rahmen bekannter Produktionsziffern auf die Holzherzeugung der kommenden Jahrzehnte zu schliessen.

Aus der Massenproduktion der Vergangenheit wird auf eine mengenmässig gleiche, künftige geschlossen. Wir setzen diesbezüglich einen stationären Zustand voraus. Pro Jahr kann eine jeweils gleiche Menge geerntet werden, ohne die Struktur des Waldes zu verändern. Analog zur massenmässigen Nachhaltigkeit bzw. Stationarität wird auf der finanziellen Seite eine Konstanz der Kosten und Erlöse angenommen. Die aus der Vergangenheit bekannten Aufwendungen für Bestandespflege, Ernte u.ä. und die Ernteerlöse fallen annahmegemäss in gleicher relativer Höhe in aller Zukunft an. Nebst der Stationarität der Holzproduktion und den dazugehörigen finanziellen Auswirkungen sei auch der Zinssatz gegeben und konstant. Diese Annahmen scheinen der beiläufigen Beobachtung der empirischen Werte zu widersprechen. Sowohl die Holzpreise als auch die Zinssätze sind nicht konstant, sondern zeigen ein willkürliches Auf und Ab. In langfristiger Perspektive, wie sie dieser Arbeit zugrunde liegt, interessieren nicht jährliche Schwankungen, sondern permanente, die dann adäquate Anpassungen erfordern. Auf kurzfristige Zinsvariationen zu reagieren, wäre verfehlt. Hingegen werden unter Wahrung der langfristigen Nachhaltigkeit die Erntemengen auf den aktuellen Stand der Holzpreise reagieren. Die Annahme der Stationarität, die besser als stationäre Bewegung zu bezeichnen wäre, erweist sich als nützlich, um grundlegende ökonomische Beziehungen erkennen und quantifizieren zu können. Ein Widerspruch zur Realität, die sich durch Ungleichheit von Jahr zu Jahr auszeichnet, besteht jedoch nicht.

## 2.2 Das Modell

Die Aufgabe des theoretischen Teiles besteht einerseits in der Ermittlung wichtiger Wertgrößen und andererseits in der Optimierung nach dem ökonomisch korrekten Kriterium. Die Untersuchung bezieht sich auf den Normalwald, der in dieser Arbeit aufgrund terminologischer Einflüsse der Kapitaltheorie als synchronisierter Wald bezeichnet wird. Modellmässig setzt sich ein synchronisierter Wald aus Einzelparzellen zusammen, die je mit gleichaltrigen Beständen bestockt sind. Die jeweiligen Bestandesalter unterscheiden sich; sie sind aber in räumlicher Hinsicht nicht notwendigerweise voneinander abgegrenzt, sondern lassen den gesamten Wald als von gleichmässiger Durchmischung erscheinen. Ein synchronisierter Wald, dem einzelbestandliche Umtriebszeiten von beispielsweise 110 Jahren zugrunde gelegt wurden, bestünde demnach aus 110 Parzellen mit Beständen des Alters von einem, zwei, drei, ... und 110 Jahren. Stationarität bzw. Nachhaltigkeit erfordert, dass jährlich der 110-jährige Bestand abgetrieben, die übrigen 109 Parzellen durchforstet und auf der 110ten, jetzt baren Parzelle ein neuer Bestand begründet wird. Die Stärke der Durchforstungseingriffe wirkten sich auf die künftige Bestandesentwicklung und damit auf den Wert des Abtriebsschlages aus. Im Prinzip steht der Waldbewirtschafter einem komplexen Produktionsproblem gegenüber, das sich nach Veränderungen der Rahmenbedingungen jeweils neu stellt und eine neue Durchforstungssequenz zur Lösung hätte. Von diesem produktionstechnischen Problem wird in dieser Arbeit abstrahiert und eine fixe Durchforstungs- und Abtriebstechnologie unterstellt.

Die Holzproduktion im oben beschriebenen synchronisierten Wald erfordert den Einsatz der Produktionsfaktoren Boden, Arbeit und Kapital. Boden ist im Umfang von 110 Parzellen einzusetzen. Arbeitsleistungen werden zur Bestandesbegründung, für Aufsicht, Unterhalt und Verwaltung und für die aus Durchforstungen und Bestandesabtrieb bestehenden Ernteaktivitäten eingesetzt. Ähnliches trifft auf die Kapitalverwendung zu. Zusätzlich zu den unmittelbar als Kapital anzusprechenden Gütern wie Maschinen, Gebäuden, Samen, u.dgl. muss das Kapital in Form des Holzbestandes berücksichtigt werden. Der jetzige Vorrat an noch nicht geerntetem Holz stellt

einen produktiven Faktor dar, weil erst die Existenz dieses Vorrats die Holzproduktion ermöglicht.

Jährlich wird mittels Arbeit und Kapital der älteste Bestand geerntet, was einen erntekostenfreien Abtriebserlös abwirft. Entsprechend dem vorgegebenen Durchforstungsplan werden in den dafür vorgesehenen Parzellen Durchforstungen vorgenommen, die je zu erntekostenfreien Durchforstungserlösen verhelfen, deren Summe zusammen mit dem Abtriebsschlag den jährlichen Nettoerlös bilden. Von diesem Betrag sind die Arbeits- und Kapitalkosten der Bestandesbegründung auf der holzleeren Parzelle und die Faktorkosten für Aufsicht und Unterhalt aller Parzellen abzuziehen. Die Differenz entspricht der jährlichen Nettoeinnahme des Forstbetriebes.

Die Kapitalisierung dieses "ewigen" Einkommensstromes zeigt den Wert des synchronisierten Waldes, der sich aus zwei Teilen zusammensetzt. Da einerseits Boden und andererseits ein synchronisierter Bestand gemeinsam den bisher untersuchten Wald bilden, kann der Waldwert nur die Summe aus Boden- und Holzbestandeswert sein. Man beachte auch, dass für die vorstehende Waldwertermittlung die Kosten zweier produktiver Faktoren nicht berücksichtigt wurden. Weder wurden die Bodenrenten noch die Verzinsung des Holzkapitalbestandes als Kosten den Nettoeinnahmen des Forstbetriebes gegenübergestellt. Stellte man auch diese Kosten in Rechnung, so wären in einer Konkurrenzwirtschaft die Nettoeinnahmen gerade hinreichend, diese Kosten zu decken. Ein Gewinn wäre im volkswirtschaftlichen, (nicht buchhalterischen) Sinne unmöglich. Letztlich stellt der Kapitalwert des Bestandes nichts als eine Summe aufgelaufener Kosten dar; ertragreichere Forstwirtschaft manifestiert sich folglich in höheren Bodenwerten und je höher dieser Wert wird desto profitabler die Holzproduktion.

Die Aufgliederung des Waldwertes in dessen zwei Teile verlangt mehr als die Beobachtung einiger weniger Jahre. Um den Bodenwert ermitteln zu können, sind die Kosten und Erlöse im Zeitablauf zu berücksichtigen. Auf einer anfänglich holzleeren Parzelle wird der Bestand begründet und anschliessend während der Dauer der Produktionsperiode adäquat durchforstet und "gemanagt" (beaufsichtigt, verwaltet udgl.). Der Abtrieb des im Umtriebsalter stehenden Be-

standes schliesst den ersten Produktionszyklus ab. Danach folgen auf unabsehbare Zeit Produktionszyklen der gleichen Art. Der Saldo der auf die Gegenwart abdiskontierten Kosten und Erlöse entspricht dem Bodenwert. Dieser spiegelt somit alle künftigen wirtschaftlichen Ereignisse, die mit dieser im Moment unbestockten Parzelle verbunden sein werden.

Ein ähnliches Verfahren erlaubt die Berechnung des Kapitalwertes eines Einzelbestandes, der sämtliche Erlöse und Kosten, wie Abtriebs- und Durchforstungserträge und Aufsichts- und Unterhaltskosten, bis zum Ende der laufenden Produktionsperiode als Barwerte spiegelt. Der synchronisierte Wald setzt sich aus allen Entwicklungsstufen zusammen; der Kapitalwert des synchronisierten Bestandes lässt sich folglich als Summe aller einzelbestandlichen Kapitalwerte auffassen.

Nach erfolgter Entwicklung der relevanten Wertgrössen geht es um die Festlegung eines Optimalzustandes. Angesichts der finanziellen Lage schweizerischer Forstbetriebe bietet sich die Maximierung der jährlichen Einnahmen an, die sich aus Boden- und Kapitaleinkommen zusammensetzen. Die Optimierung des Bodenwertes erfolgt über die Festlegung der Umtriebszeit. Weicht die optimale Produktionsperiodenlänge von der tatsächlich angewandten ab, so müssen Anpassungen des Holzkapitalteiles vorgenommen werden. Verkürzungen der Umtriebszeit erfordern den Abtrieb der zu alten Bestände und deren Ersetzung durch junge. Da der Abtrieb mehr erbringt, als die Bestandesneubegründungen kosten, entsteht ein Nettoertrag, der volkswirtschaftliche Gewinn. Der neue Wert des Forstbetriebes besteht aus drei Teilen, nämlich dem neuen Bodenwert, dem neuen Holzkapitalwert und dem volkswirtschaftlichen Gewinn. Diese Summe wurde mittels der Bodenwertoptimierung maximiert. Auch im Normalwald hilft der Bodenwert die optimale zeitliche Bewirtschaftungsweise zu finden, was nicht erstaunt, da alle künftigen Erlöse und Kosten im Wert des Bodens ihren Ausdruck finden.

Auf dieser theoretischen Grundlagen können die Wertgrössen für die schweizerische Forstwirtschaft empirisch bestimmt werden. Nebst den tatsächlichen Boden-, Holzkapital- und Waldwerten sind deren Optimalwerte feststellbar. Zusätzlich wird das Ausmass der Verbesserung (der volkswirtschaftliche Gewinn) und die optimale Länge der Umtriebsperiode quantitativ erfasst.

### 2.3 Die Anwendung auf schweizerische Verhältnisse

Die Umsetzung der theoretischen Erkenntnisse auf die realen Verhältnisse der Schweiz erfordert zusätzliche Annahmen, obwohl der theoretische Teil auf empirische Anwendbarkeit hin ausgerichtet wurde. Zum einen wird angenommen, dass die Rechnung mit schweizerischen Durchschnittswerten auch im Ergebnis einem gesamtschweizerischen Durchschnitt entspricht. Das Ziel besteht also nicht darin, jeder individuell gegebenen Lage der Forstbetriebe gerecht zu werden, sondern das ungefähre Ausmass der interessierenden Variablen auf einem höheren Aggregationsniveau abzuschätzen. Um aus den Ergebnissen Verhaltensmaxime für den Einzelbetrieb ableiten zu können, müssten die Aussagen auf die konkrete Situation übertragen oder eine ähnliche Analyse auf der eigenen Datengrundlage durchgeführt werden. Die zweite Annahme betrifft die Struktur des Schweizer Waldes. Bekanntlich sind die jüngeren Entwicklungsstufen untervertreten; der Wald in seiner Gesamtheit entspricht nicht dem Ideal des theoretisch analysierten synchronisierten Waldes. Um die Berechnungen durchführen zu können, wurde die Synchronität als gegeben angenommen. Zudem muss beachtet werden, dass in räumlicher Hinsicht der synchronisierte Wald nicht in Parzellen einheitlicher Bestände unterteilt zu sein braucht. Vielmehr stelle man sich eine zufällige Durchmischung aller Altersstufen vor.

In einige wichtige waldbauliche Eckwerte wie Holzvorrat ( $278 \text{ m}^3/\text{ha}$ ), Zuwachs ( $5.4 \text{ m}^3/\text{ha}$ ), Umtriebszeit (155 Jahre) u.a. konnten Bestandesentwicklungs- und Durchforstungsfunktionen eingepasst werden, die für einen Punkt entlang der Zeitachse (für 155 Jahre Umtriebszeit) die heutigen Rahmenwerte abbilden. Die Nadelwälder lassen sich mit Fichte 14 m Oberhöhe im 50. Jahr und die Laubwälder mit Buche 16 m Oberhöhe im 50. Jahr approximieren. Aufgrund dieses Verfahrens können sämtliche Zeitpunkte untersucht werden; eine Optimierung in der Zeit wurde damit ermöglicht.

Aus den Betriebsergebnissen der öffentlichen Forstbetriebe der letzten zehn Jahre liess sich die Kosten- und Erlöslage ermitteln. Mangels adäquater Daten zu den privaten Forstbetrieben wurden die Werte der öffentlichen übertragen. Die Untersuchung verschiedener Anlagerenditen der vergangene Jahrzehnte zeigt, dass für die Holz-

produktion Realzinssätze von zwei bis drei Prozent angemessen wären. Die Berechnungsergebnisse liegen für ein breiteres Zinsspektrum vor, werden an dieser Stelle aber nicht zur Sprache kommen.

Sämtliche Variablen des theoretischen Teiles haben damit ihre empirischen Gegenstücke erhalten. Die ursprünglichen Wald-, Boden- und Holzkapitalwerte gehen direkt aus den Grundwerten hervor. Die optimale Umtriebszeit folgt aus der Suche nach dem höchsten Bodenwert. Die optimalen Holzkapital- und Waldwerte lassen sich dann, wie im theoretischen Teil beschrieben, herleiten. In Tabelle 5.2.1 werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst, die als Durchschnitt aus den Simulationen mit 150 und 160 Jahren ursprünglicher Umtriebszeit und den Zinssätzen von 2, 2.5 und 3% hervorgegangen sind.

**Tabelle 5.2.1 Die Verhältnisse im optimierten, synchronisierten Wald**

|                          | Fichte 14 m<br>(Nadelwald) | Buche 16 m<br>(Laubwald) |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Umtriebszeit             | 105 Jahre                  | 115 Jahre                |
| Vorrat                   | 140 m <sup>3</sup> /ha     | 150 m <sup>3</sup> /ha   |
| Bodenwert                | -11'200 Fr./ha             | -11'000 Fr./ha           |
| Holzkapitalwert          | 13'700 Fr./ha              | 13'600 Fr./ha            |
| Waldwert                 | 2'500 Fr./ha               | 2'600 Fr./ha             |
| volkswirtschaftl. Gewinn | 5'400 Fr./ha               | 3'500 Fr./ha             |

Die Umtriebszeit, die gegenwärtig im schweizerischen Durchschnitt mit 155 Jahren angesetzt werden kann, wäre im Interesse der langfristigen Optimierung des Forstbetriebsertrages um 40 bis 50 Jahre zu verkürzen. Die gebräuchlichen regionalen Umtriebszeiten wären für Nadelwälder um einen Drittel zu verringern. Statt der 120 Jahre des Mittellands und der Alpensüdseite wären neu 80 Jahre angezeigt. Im Jura und den Voralpen sollten anstelle der 150 Jahre ungefähr 100 Jahre der Bewirtschaftung zugrundegelegt werden. Die

200-jährige Umtriebszeit der Alpenregion könnte um 65 Jahre verringert werden. Die optimalen Umtriebszeiten in Laubwäldern sind durchwegs um 10 Jahre höher anzusetzen (Mittelland und Alpensüdseite mit 90 Jahren; Jura und Voralpen mit 110 Jahren). Man beachte die zentrale Bedeutung der Umtriebszeit, der in der derzeitigen Waldbewirtschaftung eher eine theoretische Rolle beige-messen wird. In Wahrheit bestimmt die Zeitdauer, die der Bestandesentwicklung eingeräumt wird, über den Grad der betrieblichen Kapitalisierung und der Rentabilität der Waldbewirtschaftung. Das Anliegen der Arbeit ist es gerade, diese Zeitdauer zu bestimmen.

Die Verkürzung der Umtriebszeit wirkt sich in einer niedrigeren Holzvorratshaltung aus. Statt eines Vorrats von  $278 \text{ m}^3/\text{ha}$  wären 140 bis  $150 \text{ m}^3/\text{ha}$  hinreichend. Die ausgeprägte Verringerung hat zwei Quellen. Zum einen wirken sich die übervertretenen, massereichen Altbestände in hohen Vorräten aus. Zum andern geht die Verkürzung der Umtriebszeit zwangsläufig mit Vorratsabbau einher, weil wiederum zu alte und massereiche Bestände eliminiert werden müssen.

Gegenüber der heutigen Situation bewirkt die Anpassung der Umtriebszeit eine Erhöhung der Bodenwerte um 250 (Fichte) bzw. 120 Fr./ha (Buche) auf etwa 11'000 Fr./ha. Alle künftigen Kosten und Erlöse, die mit einer Hektare bestockten oder unbestockten Waldbodens verbunden sind, bilden den Wert des Bodens. Das negative Vorzeichen dieser Grösse bedeutet, dass der Barwert aller künftigen Kosten denjenigen der künftigen Erträge um 11'000 Fr./ha übertrifft. Die Rentabilität manifestiert sich nicht im buchhalterischen Gewinn, der mit negativen Bodenwerten einhergehen kann, sondern im Wert des Bodens. Wie sich Betriebsgewinne und negative Bodenwerte vereinbaren lassen, geht aus der nächsten Grösse der Tabelle 5.2.1 hervor. Die Verzinsung des Holzkapitals, das mit einem Wert von 13'700 Fr./ha zu veranschlagen ist, übertrifft die negative Bodenrente im Umfange des Betriebsgewinnes. Der Waldwert beträgt etwa 2'500 Fr./ha und kann als Kapitalisierung dieser Betriebsgewinne aufgefasst werden. Eine Hektare synchronisierten Waldes, der eine Umtriebszeit von 105 Jahren im Falle der Fichte bzw. von 115 Jahren im Falle der Buche als

Bewirtschaftungsrichtlinie dient und die einen durchschnittlichen Vorrat von 140 (Fichte) bzw.  $150 \text{ m}^3$  (Buche) trägt, besitzt demnach einen Wert von 2'500 Fr., der sich aus 13'700 Fr. Kapitalwert des Bestandes und aus minus 11'200 Fr. Kapitalwert des Bodens zusammensetzt.

In einer laissez-faire-Wirtschaft wäre die Elimination der Wälder das Mittel, die negativen Bodenrenten zu umgehen. Der Verzicht auf Waldbewirtschaftung erspart künftige Kosten in der Höhe von 11'000 Fr./ha und der Verkauf der abgetriebenen Bestände liefert einen Ertrag von ungefähr 10'000 Fr./ha. Die Vermögen der Waldbesitzer liessen sich vervierfachen. Kann der frei gewordene Boden profitabel alternativ verwendet werden, so wäre mehr als eine Vervielfachung denkbar. Die schweizerische Forstgesetzgebung schränkt die freie Verfügung über den Waldbesitz ein. "Laissez-faire-Reaktionen" auf negative Waldbodenwerte werden gesetzlich verhindert. Dies bedeutet aber nicht, dass daraus ein Entschädigungsanspruch in der Höhe des negativen Bodenwertes abgeleitet werden kann. Der Aufbau der aktuellen Waldsubstanz erforderte Kapitalakkumulationen früherer Generationen. Der Kapitalwert des Holzbestandes beträgt heute über 13'000 Fr./ha und vermag die negativen Bodenwerte mehr als wettzumachen. Die derzeitige Generation verfügt über ein Waldkapital von 2'500 Fr./ha, das eine seiner Risikoklasse entsprechende Rendite abwirft. Wenn dies gesetzlich möglich wäre, spielte es für einen Investor keine Rolle, ob er eine Hektare synchronisierten Durchschnittswald oder eine Aktie der Firma X zu 2'500 Fr. käuflich erwirbt. In beiden Fällen verzinst sich das investierte Kapital in gleichem Ausmass. Mit der gleichen Logik, wie negative Bodenwerte als zu entschädigende Belastung ins Feld geführt werden könnten, liesse sich seitens der Firma-X-Aktionäre argumentieren, dass die Absenz von einschränkenden Zöllen, von Arbeitsschutzvorschriften, von Steuern u.ä. den Wert der Aktien um mehrere tausend Franken erhöhen würde. Die Aktionäre wären dann auch im Umfang dieser Kosten zu entschädigen.

Der Uebergang von der heutigen Bewirtschaftungsweise der strukturell wie absolut überalterten Wälder auf die berechnete optimale, löst Erträge und Kosten aus. Vom Abtriebserlös der zu alten Waldteile sind die Investitionskosten für neue synchroni-

sierte Wälder abzuziehen. Der verbleibende Ueberschuss, der volkswirtschaftliche Gewinn, beträgt für Nadelwälder 5'400 Fr./ha (vgl. Tabelle 5.2.1). Laubwälder erfordern weniger tiefgreifende Eingriffe; der volkswirtschaftliche Gewinn kann mit nur 3'500 Fr./ha veranschlagt werden. Die Gewichtung der Hektarwerte mit den Flächenzahlen zeigt die volkswirtschaftlichen Verbesserungen in ihrer Gesamtheit. Die Optimierung der Kapitalintensität der Holzproduktion wirft gesamtschweizerisch 5 Mrd. Fr. ab. Der öffentliche Wald partizipiert mit 3.5 Mrd. Fr. Die restlichen 1.5 Mrd. Fr. können im Privatwald realisiert werden. Die 5 Mrd. Fr. lassen sich auch nach dem Waldtyp aufschlüsseln. 3.85 Mrd. Fr. wird der Nadelwald und 1.15 Mrd. Fr. der Laubwald abwerfen. Die Realisierung dieses volkswirtschaftlichen Gewinnes im Zeitablauf und die finanziellen wie qualitativen Auswirkungen der Bestandesanpassungen sind Gegenstand des folgenden Kapitels.

### 3. Forstpolitischer Ausblick

#### 3.1 Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen im Zeitablauf

Die theoretische und empirische Analyse des dritten und vierten Teiles haben gezeigt, dass die Berücksichtigung der Zinsrechnung eine Verkürzung der Produktionszeitdauer fordert. Der Gewinn, der aufgrund der ausgelösten Anpassungen anfällt, wurde als augenblicklich realisierbar dargestellt. Die vorzunehmenden Eingriffe sind jedoch tiefgreifend. Die Umtriebszeit sollte gesamtschweizerisch um ein Drittel verkürzt werden, der Altersaufbau des Waldes sollte dem Ideal der nachhaltigen Bewirtschaftung genügen und der durchschnittliche Holzvorrat ist auf die Hälfte des heutigen Wertes zu reduzieren. Die Erreichung dieser Ziele benötigt ausgesprochen viel Zeit. Nicht über Nacht wird der volkswirtschaftliche Gewinn entstehen, sondern er realisiert sich während einer Zeitspanne, die ohne weiteres hundert Jahre dauern kann. Es werden dann während einhundert Jahren Zusatzgewinne entstehen, die gesamthaft der volkswirtschaftlichen Gewinngrösse gleich werden. Gleichung (5.3.1) enthält diese Bedingung:

$$(5.3.1) \quad \int_0^D g(t) dt = VG .$$

Die Anpassungen dauern D Jahre, um vollständig durchgeführt werden zu können. Jährlich fallen aufgrund eines marginalen Korrekturschrittes Gewinne der Höhe  $g(t)$  an, die sich während der D-jährigen Phase auf den ursprünglich berechneten volkswirtschaftlichen Gewinn (VG) summieren.

Die Barwertsumme der Jahresgewinne erreicht jedoch nicht mehr die Höhe der "Momentananpassung". Die folgende Gleichung zeigt, dass die späteren Gewinne stärker abdiskontiert werden müssen:

$$(5.3.2) \quad \int_0^D g(t) e^{-it} dt = G < VG .$$

Der Barwert des nur allmählich anfallenden volkswirtschaftlichen Gewinnes, in Gleichung (5.3.2) mit  $G$  bezeichnet, unterschreitet für positive Zinssätze die anfänglich berechnete Höhe. Je länger die Anpassungsphase dauert, je höher  $D$  wird, desto geringer der Wert, den die Variable  $G$  annimmt.

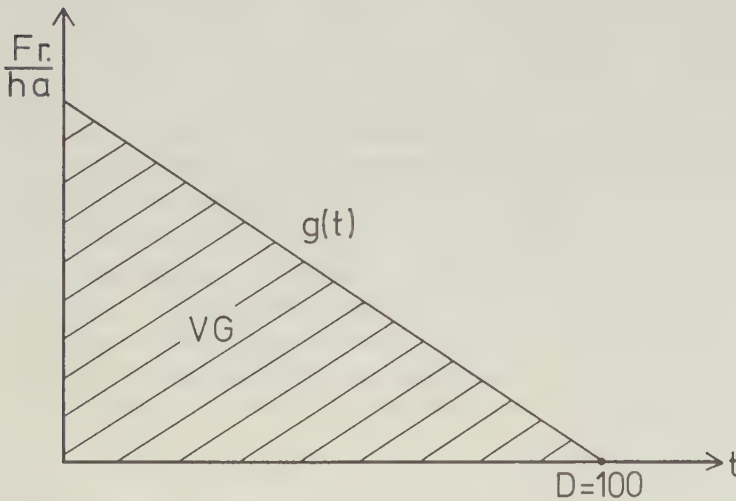
Die Optimierung der Uebergangsphase stellt ein komplexes Problem dar. Die Anpassungsdauer ( $D$ ) und die jährlichen Massnahmen ( $g(t)$ ) sind derart zu gestalten, dass der Barwert dieser Gewinne ( $G$ ) möglichst gross wird. Zudem sollte nach Beendigung der Uebergangsphase ein synchronisierter Wald mit optimaler Kapitalintensität der Holzproduktion den suboptimalen ersetzt haben.

Das Uebergangsproblem, das in der allgemeinen Formulierung äusserst komplex und nur mit aufwendigen Berechnungsverfahren zu lösen ist, lässt sich mit zwei Annahmen drastisch vereinfachen und bietet trotzdem einigen Erkenntnisgewinn. Die erste Annahme betrifft die Dauer der Anpassungsphase. Das Problem der Altersstruktur löst sich, wenn genau während der Länge der neuen Umtriebszeit die Umstellungen vollzogen werden. Die jährlichen Korrekturen sind derart zu gestalten, dass tatsächlich ein synchronisierter Wald resultiert. Diese zweite Annahme schränkt den Pfad der jährlichen Eingriffe stark ein. Die heutige Altersstruktur und die optimale Umtriebszeit bestimmen im Rahmen der zwei Annahmen sowohl die Dauer als auch den Verlauf der Umstellungsmassnahmen.

Man stelle sich vor, der ursprüngliche, suboptimale Wald sei zwar ein synchronisierter, jedoch übertreffe die verfolgte die optimale Umtriebszeit. Statt der 150 Jahre wäre eine Produktionsperiodendauer von 100 Jahren angezeigt. Jährlich müsste ein Hundertstel der Waldfläche geräumt und mit einem neuen Bestand bestockt werden. Dies hätte während hundert Jahren zu geschehen. Nach Ablauf der Anpassungsfrist wäre der neue synchronisierte Wald erstellt. Weil mit dem Alter die Wuchsleistung sinkt, würden beim ältesten Bestand beginnend sukzessive jüngere Bestände eliminiert. Im hundertsten Jahr des Uebergangs käme ein halber Bestand des Alters von 101 Jahren und ein Bestand im Alter von 100 Jahren zum Abtrieb. Letzterer wurde kurz vor der Einführung der neuen Bewirtschaftungsweise begründet. Da anfänglich ältere Bestände (150

jährige) als am Schluss (100 jährige) geerntet werden und weil mit steigendem Bestandesalter die Holzmasse zunimmt, sinkt der Zusatzgewinn ( $g(t)$ ) von Jahr zu Jahr. Die Graphik 5.3.1 veranschaulicht den Pfad der jährlichen volkswirtschaftlichen Gewinne ( $g(t)$ ), wenn die Anpassungen entsprechend den obigen Ausführungen vollzogen werden. In enger Uebereinstimmung mit dem Verlauf der Wachstumskurve wäre die  $g(t)$ -Kurve konkav gekrümmt. Empirische Erkenntnisse (vgl. die Graphiken 4.4.1 und 4.4.2) erlauben eine Linearisierung der Gewinnfunktion.

**Graphik 5.3.1 Verlauf der Anpassungen**



Der volkswirtschaftliche Gewinn wird in linear abnehmender Stärke während der Anpassungsfrist von hundert Jahren erzielt. Die Fläche unter der  $g(t)$ -Kurve zwischen den Punkten 0 und 100 stimmt mit dem volkswirtschaftlichen Gewinn ( $VG$ ) überein (nach Gleichung (5.3.1)).

Wie im vierten Teil dargelegt wurde, sind im Schweizer Wald die älteren Entwicklungsstufen übervertreten. Der volkswirtschaftliche Gewinn bei Berücksichtigung der effektiven Altersstruktur übertrifft den bei synchronisierter Ausgangslage erreichbaren. Auch

für diesen Fall reicht die Darstellung in Graphik 5.3.1 aus. Man denke sich für VG und  $g(t)$  die jeweils höheren Ziffern.

Zur Gleichung (5.3.1) treten weitere Bedingungen. Einerseits muss die Linearität gewährleistet sein und andererseits gilt:

$$(5.3.3) \quad g(0) = 2 \cdot VG \cdot \frac{1}{D} \quad \text{und} \quad g(D) = 0 .$$

Zwischen den in den Gleichungen (5.3.3) festgelegten Punkten verläuft der Pfad linear, wie es Gleichung (5.3.4) festhält:

$$(5.3.4) \quad g(t) = 2 \cdot VG \cdot \frac{1}{D} \left(1 - \frac{t}{D}\right) \quad \text{für } 0 \leq t \leq D .$$

Im Beispiel mit einer Anpassungsdauer von hundert Jahren würden anfänglich zwei Prozent des volkswirtschaftlichen Gewinnes erzielt. Nach fünfzig Jahren hat sich der laufende Gewinn auf ein Prozent reduziert, um nach hundert Jahren auf Null abzusinken.

Die zwei vereinfachenden Annahmen führen zu einem entsprechend einfachen Anpassungspfad, der aber zugleich intuitiv verständlich erscheint. Zu Beginn erfolgen stärkere Eingriffe als am Ende der Korrekturphase, wie es vermutlich eine Optimierung ohne die einschränkenden Annahmen auch fordern würde.

### 3.2 Finanzielle Auswirkungen

Nach den allgemeineren Erörterungen des vorhergehenden Abschnittes geht es jetzt um die konkrete Ausgestaltung des Uebergangs vom heutigen auf einen optimalen, synchronisierten Schweizer Wald. Die Verkürzung der Umtriebszeit von 155 auf etwa 110 Jahre bedeutet im Rahmen des Modelles, dass Bestände bis zum Alter von 110 Jahren belassen und die älteren entfernt werden. Der Optimalzustand kennzeichnet sich durch einen tieferen stehenden Holzvorrat. Im allmählichen Vorratsabbau auf das neue langfristige Niveau entsteht der volkswirtschaftliche Gewinn. Da sich die tatsächliche Situation nicht durch die räumliche Trennung verschiedener Entwicklungsstufen auszeichnet, sondern diese als mehr oder weniger zu-

fällig durchmischt erscheinen, dürfte eine explizit auf Umtriebszeiten basierende Bewirtschaftung erschwert sein. Wird dagegen ein Vorratsziel und Nachhaltigkeit verfolgt, so korrespondiert damit genau eine Umtriebszeit. Im Falle der schweizerischen Waldwirtschaft bestünden die Ziele folglich in der Erreichung synchronisierter Bestandesstrukturen bei ungefährer Halbierung der Holzvorräte. Die heutigen Vorräte von  $280 \text{ m}^3/\text{ha}$  wären auf 140 bis  $150 \text{ m}^3/\text{ha}$  zu reduzieren.

Erfolgt die Umstrukturierung nach dem im vorhergehenden Abschnitt festgelegten Pfad, so müsste während mehr als hundert Jahren in abnehmender Stärke der Vorrat abgebaut werden. Im ersten Jahr wären zwei Prozent des Uebervorrats von rund  $140 \text{ m}^3/\text{ha}$  zu ernten. Zur normalen Nutzung kämen noch  $2.8 \text{ m}^3/\text{ha}$  und Jahr hinzu. Im Laufe der Zeit reduziert sich die zusätzliche Erntemenge und dürfte nach 50 Jahren noch etwa  $1.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  und Jahr betragen. Nach etwa hundert Jahren wären keine Umstrukturierungen mehr notwendig, der dannzumalige Wald synchronisiert und die optimale Umtriebszeit eingeführt. Der Barwert der Einnahmensequenz beläuft sich auf etwa 2.5 Mrd. Fr.. Die Einräumung einer Anpassungsfrist von hundert Jahren halbiert den theoretischen Wert des volkswirtschaftlichen Gewinnes. Die Verlängerung der Anpassungsphase auf 200 Jahre bei einem entsprechend gestreckten Pfad reduziert den Barwert des zusätzlichen Einnahmenstromes auf einen Drittel des theoretischen Wertes. Ungefähr 1.6 Mrd. Fr. liessen sich auf diese Weise realisieren. Man beachte, dass ein 200-jähriger Pfad einen Vorratsabbau im ersten Jahr von bloss  $1.4 \text{ m}^3/\text{ha}$  erfordert. Nach hundert Jahren beträgt die zusätzliche Ernterate noch  $0.7 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Das neue langfristige Gleichgewicht, das durch die optimale Umtriebszeit und einen synchronisierten Waldaufbau charakterisiert ist, stellt sich nach 200 Jahren ein.

Wie im dritten Teil dieser Arbeit dargelegt wurde, entspringt der volkswirtschaftliche Gewinn aus der Anpassung der Kapitalintensität der Holzproduktion. Bei zu langen Umtriebszeiten tritt eine Ueberkapitalisierung ein. Umtriebszeitverkürzungen, die einen Kapitalabbau bewirken, erlauben den frei gewordenen Kapitalteil alternativ zu investieren. Man beachte, dass das in Form stehender Holzvorräte vorhandene Kapital abzubauen ist und nicht unbedingt

das forstbetriebliche Kapital in seiner Gesamtheit. Statt die finanziellen Mittel in schlecht rentierenden Uebervorräten zu binden, könnte die Veränderung der Kapitalstruktur des gesamten Betriebes den Ertrag steigern. Mit den Mitteln aus dem Vorratsabbau liessen sich anderweitige Investitionen finanzieren. Man denke an Erschliessungen, Erneuerungen und Erweiterungen des Maschinenparks u.ä., die sowohl zusätzliche Erträge als auch Kosteneinsparungen herbeiführen dürften. Die Empfehlungen zielen also nicht auf einen Substanzabbau, sondern vielmehr auf die Umstrukturierung des vorhandenen Kapitals im Sinne einer Steigerung der Ertragskraft.

### 3.3 Qualitative Auswirkungen

Die letzte, im Sinne eines Ausblickes noch zu diskutierende Frage betrifft die andern produktiven Aspekte des Waldes sowie die Auswirkungen auf dessen Gesundheitszustand. Im Einführungsteil dieser Arbeit wurde festgestellt, dass die sogenannten Schutz- und Wohlfahrtsfunktionen, die der Wald nebst der Holzproduktion ausübt, in der Regel nicht von der zugrundeliegenden Kapitalintensität der Holzproduktion abhängt. Bezüglich der Produktion externer Erträge unterscheiden sich langfristige Gleichgewichtssituationen nicht. Probleme könnten sich in der Phase des Uebergangs stellen, wenn durch ausgedehnte Kahlschläge ein rascher Vorratsabbau herbeigeführt werden sollte. Vollzieht man die Korrekturmassnahmen in der oben besprochenen Zeitspanne von ungefähr hundert Jahren, so werden die jährlichen Mehrnutzungen keine Wirkungen auf die externen Walderträge ausüben können. Der geringe jährliche Vorratsabbau transformiert im Laufe der Jahrzehnte den heutigen, überalterten Schweizer Wald in einen synchronisierten. Die Erfüllung der Wohlfahrts- und Schutzfunktionen wird auch während der Umstellungsperiode vollauf gewährleistet sein.

Werden die Wohlfahrts- und Schutzfunktion durch die Umstrukturierung des Waldes kaum berührt, so dürfte der Gesundheitszustand des Schweizer Waldes positiv beeinflusst werden. Im zweiten Kapitel des ersten Teiles wurde ausgeführt, dass die Schädigungen schwergewichtig ältere Bestände betreffen und dass sich die Lage in letzter Zeit stabilisiert habe. Die aufgetretenen Waldschäden

haben Mehrnutzungen zur Folge. Die vorgeschlagene Verringerung des stehenden Holzvorrates kommt den schadenbedingten Massnahmen im zweifacher Weise entgegen. Zum einen lassen sich mindestens teilweise die schadenbedingten Mehrnutzungen und die Zusatznutzungen für den Vorratsabbau miteinander in Einklang bringen. Zum andern reduziert die angestrebte Umtriebszeitverkürzung die Schadenswahrscheinlichkeit, da durchschnittlich jüngere und damit vitalere Bestände die Wälder kennzeichnen werden. Selbst bei Fortdauer der Immissionen auf heutigem Niveau verbessert sich der Gesundheitszustand des Waldes.



## ANHANG A: MATHEMATISCHE HERLEITUNGEN

### 1. Der Bodenwert

#### 1.1. Herleitung

Der Bodenwert (B) und die Bodenrente (r) bilden sich aus den Variablen: Inputkosten (k), Durchforstungserträge (x(t) für t=0 bis T), Erlös aus den Abtriebsschlägen (f(T)) und den Aufsichts- und Unterhaltskosten (a: auch Managementkosten genannt). Die Produktionszyklen der Länge T wiederholen sich unendlich oft. Der Zinssatz (i) ist konstant und exogen. Es folgt:

$$\begin{aligned}
 (A.1.1) \quad B &= -k + \int_0^T x(t)e^{-it} dt + f(T)e^{-iT} - a \cdot \frac{1}{i}(1-e^{-iT}) \\
 &\quad - ke^{-iT} + e^{-iT} \int_0^T x(t)e^{-it} dt + f(T)e^{-2iT} - a \cdot \frac{1}{i}(1-e^{-iT})e^{-iT} \\
 &\quad - ke^{-2iT} + \dots \\
 &= \{f(T)e^{-iT} - k + \int_0^T x(t)e^{-it} dt - a \frac{1}{i}(1-e^{-iT})\} (1 + e^{-iT} + e^{-2iT} + \dots) \\
 &= \{f(T)e^{-iT} - k + \int_0^T x(t)e^{-it} dt - a \frac{1}{i}(1-e^{-iT})\} \cdot \frac{1}{1-e^{-iT}}.
 \end{aligned}$$

Die Gleichung (A.1.1) lässt sich zur nachfolgenden Bodenwertformel umformen, wie sie Abschnitt 2.4 des dritten Teiles enthält:

$$(3.2.15s) \quad B = \frac{f(T)e^{-iT} - k}{1-e^{-iT}} + \frac{\int_0^T x(t)e^{-it} dt}{1-e^{-iT}} - \frac{a}{i} \quad \text{mit } B = \frac{r}{i}.$$

## 1.2. Die Maximierung des Bodenwertes

### 1.2.1. Bedingung erster Ordnung

Es ist  $\frac{dB}{dT} = 0$  die Bedingung erster Ordnung des Maximums:

$$(A.1.2) \quad \frac{dB}{dT} = \frac{(f'(T)e^{-iT} - i \cdot f(T)e^{-iT})(1 - e^{-iT}) - (f(T)e^{-iT} - k)ie^{-iT}}{(1 - e^{-iT})^2} \\ + \frac{x(T)e^{-iT}(1 - e^{-iT}) - (\int_0^T x(t)e^{-it} dt)ie^{-iT}}{(1 - e^{-iT})^2} = 0 .$$

Somit:

$$(A.1.3a) \quad \frac{f'(T) + x(T)}{f(T) + \int_0^T x(t)e^{-it} dt - k} = \frac{i}{1 - e^{-iT}} .$$

Oder:

$$(A.1.3b) \quad f'(T) + x(T) = i \cdot f(T) + r + a$$

$$(A.1.3c) \quad f'(T) + x(T) - i \cdot f(T) - r - a = 0 .$$

Die in Abschnitt 3.1.1 des dritten Teiles dargestellte Optimalitätsbedingung in Gleichung (3.3.2) entspricht den vereinfachten Formen der Gleichungen (A.1.3b und c).

### 1.2.2. Bedingung zweiter Ordnung

$\frac{d^2B}{dT^2} < 0$  stellt die Bedingung zweiter Ordnung eines Maximums des Bodenwertes dar.

Aus (A.1.3c) folgt:

$$(A.1.4) \quad \frac{d}{dT}(f'(T) + x(T) - i \cdot f(T) - i \cdot B - a) < 0$$

$$(A.1.5) \quad f''(T) + x'(T) - i \cdot f'(T) - i \cdot \frac{dB}{dT} < 0 .$$

Da  $\frac{dB}{dT}$  nach Gleichung (A.1.2) gleich Null sein muss, folgt:

$$(A.1.6) \quad \frac{f''(T) + x'(T)}{f'(T)} < i .$$

Gleichung (A.1.6) besagt, dass im Bodenwertmaximum die Zuwachsveränderung ( $f''(T)$ ) plus die Veränderung des Durchforstungsertrages in T ( $x'(T)$ ) relativ zum Zuwachs ( $f'(T)$ ) kleiner als der Zinssatz ( $i$ ) zu sein hat.

### 1.3 Komparative Statik

Da die Produktionsperiodenlänge T die zu wählende Variable darstellt, die einen optimalen Bodenwert zu erbringen hat, wird nachfolgend die Änderung der optimalen Produktionsperiodenlänge auf Variationen in den Variablen a, k und i untersucht. Aus Gleichung (A.1.3c) wird die Variable G definiert:

$$(A.1.7) \quad G = f'(T) + x(T) - i \cdot f(T) - r - a = 0 .$$

Um die Beziehung zwischen T und beispielsweise a ermitteln zu können, differenziere man Gleichung (A.1.7) wie in (A.1.8) gezeigt:

$$(A.1.8a) \quad dG = \frac{\partial G}{\partial T} \cdot dT + \frac{\partial G}{\partial a} \cdot da = 0$$

$$(A.1.8b) \quad dG = G_T \cdot dT + G_a \cdot da = 0 .$$

Folglich:

$$(A.1.9) \quad \frac{dT}{da} = - \frac{G_a}{G_T} .$$

Aus der Bedingung zweiter Ordnung eines Maximums ist bekannt, dass

$$(A.1.10) \quad G_T = \frac{d^2 B}{dT^2} < 0 \quad \text{sein muss.}$$

Um das Vorzeichen von  $dT/da$  bestimmen zu können, ist also nur noch das Vorzeichen von  $G_a$ , das hier beispielhaft für alle übrigen Variablen genannt wird, in Erfahrung zu bringen. Es gilt somit:

$$(A.1.11) \quad \frac{dT}{da} \begin{cases} > 0 & \text{falls } G_a > 0 \\ < 0 & \text{falls } G_a < 0 \\ = 0 & \text{falls } G_a = 0 \end{cases} .$$

### 1.3.1. Wirkung veränderter Managementkosten auf das optimale T

Die Gleichungen (A.1.7) bis (A.1.9) gelten unmittelbar, wobei die Ableitung von G nach a jetzt explizit durchgeführt wird:

$$(A.1.12) \quad \frac{\partial G}{\partial a} = G_a = 0 .$$

Wird in Gleichung (A.1.7) für die Rente (r) ihre Bestimmungsgleichung (3.2.16s) eingesetzt, so zeigt es sich, dass die Variable a nicht in die Funktion (A.1.7) eingeht. Die Ableitung nach a ist gleich Null. Daraus folgt:

$$(A.1.13) \quad \frac{dT}{da} = 0 .$$

Die Managementkosten beeinflussen die optimale Produktionsperiodenlänge nicht.

### 1.3.2. Wirkung veränderter Inputkosten auf das optimale T

In Anlehnung an das bisher Gesagte resultiert:

$$(A.1.14) \quad G_k = \frac{\partial G}{\partial k} = \frac{i}{1-e^{-iT}} > 0 .$$

Folglich:

$$(A.1.15) \quad \frac{dT}{dk} = - \frac{G_k}{G_T} > 0 .$$

Höhere Inputkosten wirken sich in längeren optimalen Produktionsperioden aus.

### 1.3.3. Wirkung eines veränderten Zinssatzes auf das optimale T

#### a) Im Fall fehlender Durchforstungserträge

Der Bodenwert vereinfacht sich mit  $x(t) = 0$  für  $0 \leq t \leq T$  zu:

$$(A.1.16) \quad B = \frac{f(T)e^{-iT} - k}{1-e^{-iT}} - \frac{a}{i} .$$

Analog zu den Ausführungen in den Gleichungen (A.1.7) bis (A.1.11) folgt:

$$(A.1.17) \quad G_i = \frac{\partial G}{\partial i} = \left\{ f(T) + \frac{f(T)e^{-iT} - k}{1-e^{-iT}} \right\} \left\{ \frac{iTe^{-iT}}{1-e^{-iT}} - 1 \right\} .$$

Der zweite Klammerausdruck ist immer negativ, da dieser der Bedingung

$$(A.1.17a) \quad 1 + iT < e^{iT}$$

unterliegt. Einfacher Zins  $(1+iT)$  wird immer vom Zinseszins  $(e^{iT})$  übertroffen.  $G_i$  wird negativ, wenn der Abtriebserlös am Ende des Produktionszyklus  $(f(T))$  die Inputkosten zu Beginn des folgenden Produktionszyklus übertroffen:

$$(A.1.17b) \quad f(T) > k .$$

Der erste Klammerausdruck in (A.1.17) ist damit positiv. Positive cash-flows ( $f(T)-k>0$ ) ausgelöst durch Abtrieb und Wiederbegründung des Bestandes bewirken:

$$(A.1.18) \quad G_i < 0 \quad \text{somit} \quad \frac{dT}{dI} < 0 ,$$

das heisst, dass Zinssteigerungen zu Verkürzungen der optimalen Produktionsperioden führen. Bei negativen cash-flows an den Zyklengrenzen, Ende des einen Produktionszyklus und gleichzeitiger Beginn des nächsten, führen Zinserhöhungen zu Verlängerungen der Produktionsperiode.

b) Im Falle existenter Durchforstungserträge

Der Einbezug der Durchforstungserträge kompliziert die Analyse enorm und zwingt zu einer weniger stringenten Argumentation. Um die Bedingung in (A.1.18) zu erfüllen, muss gelten:

$$(A.1.17c) \quad f(T) - k > Y$$

mit:

$$(A.1.17d) \quad Y = \frac{i(1-e^{-iT})}{1-e^{-iT}(1+iT)} \cdot \int_0^T t \cdot x(t) e^{-it} dt - \int_0^T x(t) e^{-it} dt .$$

Das Vorzeichen der Variablen Y hängt vom zeitlichen Verlauf der Durchforstungsfunktion ( $x(t)$ ) ab. In der Regel steigen die Durchforstungen an, erreichen ein Maximum und nehmen anschliessend wieder leicht ab. Eine Simulation mit:

$$(A.1.17e) \quad x(t) = -t^2 + c \cdot t \quad \text{und} \quad c > 0$$

und plausiblen Werten für  $i$ ,  $T$  und  $c$  ergab immer:

$$(A.1.17f) \quad Y > 0$$

folglich verändert sich (A.1.17b) in:

$$(A.1.17g) \quad f(T) - k > Y > 0 .$$

Damit nach wie vor die Bedingung (A.1.18) erfüllt ist, müssen die cash-flows an den Zyklengrenzen also nicht bloss positiv, sondern grösser als ein aus Durchforstungserträgen gebildeter Term ( $Y$ ) sein.

## 2. Der Holzkapitalwert

### 2.1. Herleitung für einen Einzelbestand

#### 2.1.1. Als Barwert künftiger Erträge

Der Schattenpreis ( $S(t)$ ) eines Einzelbestandes, der gleichaltrige Bestand einer Parzelle, bemisst sich für das Alter  $t$  ( $0 \leq t \leq T$ ) wie in Gleichung (3.2.17s) hergeleitet:

$$(3.2.17s) \quad S(t) = f(T)e^{-i(T-t)} + \int_t^T x(t^*)e^{-i(t^*-t)} dt^* \\ - \frac{r}{i}(1-e^{-i(T-t)}) - \frac{a}{i}(1-e^{-i(T-t)}) .$$

Dem ist nichts hinzuzufügen. Man konsultiere den Abschnitt 2.5 des theoretischen Teiles (dritter Teil).

#### 2.1.2. Als aufgelaufene historische Kosten

Der Schattenpreis ( $S(t)$ ) in Gleichung (3.3.3), der gleich den aufdiskontierten historischen Kosten und Erträgen wird, vereinfacht sich zu Gleichung (A.2.1):

$$(A.2.1) \quad S(t) = ke^{it} + \frac{r}{i}(e^{it}-1) + \frac{a}{i}(e^{it}-1) - \int_0^t x(t^*)e^{i(t-t^*)} dt^* .$$

Die Herleitung entnehme man Abschnitt 3.1.2 des dritten Teiles.

#### 2.1.3 Die Gleichheit beider Betrachtungsweisen

Der Bodenwert ( $B$ ) und damit die Bodenrente ( $r$ ) sorgen durch ihr Niveau dafür, dass Gleichheit zwischen der ökonomisch korrekten  $S(t)$ -Darstellung in (3.2.17s) und der ökonomisch mangelhaften in (A.2.1) herrscht. Ab Gleichung (A.2.2) folgt schrittweise die Auflösung der gleichgesetzten  $S(t)$ -Berechnungsweisen. Beide Seiten wurden mit  $e^{-it}$  multipliziert:

$$(A.2.2) \quad f(T)e^{-iT} + \int_t^T x(t^*)e^{-it^*} dt^* - \frac{r}{I}(e^{-it} - e^{-iT}) - \frac{a}{I}(e^{-it} - e^{-iT})$$

$$= k + \frac{r}{I}(1 - e^{-it}) + \frac{a}{I}(1 - e^{-it}) - \int_0^t x(t^*)e^{-it^*} dt^* .$$

Daraus folgt:

$$(3.2.15s) \quad B \equiv \frac{r}{I} = \frac{f(T)e^{-iT} - k}{1 - e^{-iT}} + \frac{\int_0^T x(t)e^{-it} dt}{1 - e^{-iT}} - \frac{a}{I} \quad \text{q.e.d.}$$

Womit beweisen wäre, dass beide Betrachtungsweisen gleiche Holzkapitalwerte implizieren und dass der Bodenwert für diese Gleichheit sorgt. Die Gleichheit beider Betrachtungsweisen lässt eine graphische Darstellung des Optimierungsprozesses zu, wie es in Abschnitt 3.1.2 des dritten Teiles gezeigt wurde.

## 2.2. Verlauf der Holzkapitalwertkurve

### 2.2.1. Anfangs- und Endpunkt

Der Anfangspunkt (in  $t=0$ ) der  $S(t)$ -Kurve bestimmt sich durch Einsetzen von  $t=0$  in Gleichung (A.2.1):

$$(A.2.4) \quad S(0) = k + \frac{r}{I}(1-1) + \frac{a}{I}(1-1) - \int_0^0 x(t^*)e^{-it^*} dt^* = k .$$

Der Endpunkt folgt durch die Einsetzung von  $t=T$  in Gleichung (3.2.17s):

$$(A.2.5) \quad S(T) = f(T) + \int_T^T x(t^*)e^{-i(t^*-T)} dt^* - \frac{r}{I}(1-1) - \frac{a}{I}(1-1) = f(T) .$$

Anfangs- und Endpunkt der  $S(t)$ -Kurve sind unabhängig vom Ausmass der Durchforstungen, von der Bodenrente, von den Managementkosten und vom Zinssatz. Die Gleichungen (A.2.4) und (A.2.5) belegen, was in den Gleichungen (3.2.18) des Abschnitts 2.5 (dritter Teil) behauptet wurde.

### 2.2.2. Steigung

Um die Steigung der  $S(t)$ -Kurve zu ermitteln, leite man  $S(t)$  in Gleichung (3.2.17s) nach  $t$  ab. Die Ergebnisse finden sich auch im Abschnitt 2.5 des dritten Teiles.

$$\begin{aligned}
 (A.2.6) \quad \frac{dS(t)}{dt} &= i \cdot f(T) e^{-i(T-t)} - x(t) + i \int_t^T x(t^*) e^{-i(t^*-t)} dt^* \\
 &\quad + r \cdot e^{-i(T-t)} + a \cdot e^{-i(T-t)} \\
 &= i \cdot f(T) e^{-i(T-t)} - x(t) + i \int_t^T x(t^*) e^{-i(t^*-t)} dt^* \\
 &\quad + r - r(1 - e^{-i(T-t)}) + a - a(1 - e^{-i(T-t)}) \\
 &= a + r - x(t) + i \cdot S(t) .
 \end{aligned}$$

Somit folgt:

$$(3.2.20) \quad \frac{\frac{dS(t)}{dt} + x(t) - r - a}{S(t)} = i .$$

Die Veränderung des Waldwertes ( $W(t)$ ) folgt unmittelbar aus:

$$(A.2.7) \quad W(t) = B + S(t) ,$$

$$(A.2.8) \quad \frac{dW(t)}{dt} = \frac{dB}{dt} + \frac{dS(t)}{dt} = \frac{dS(t)}{dt}$$

und der Gleichung (A.2.6):

$$\begin{aligned}
 (A.2.9) \quad \frac{dW(t)}{dt} &= \frac{dS(t)}{dt} = a - x(t) + i \cdot S(t) + i \cdot \frac{r}{i} \\
 &= a - x(t) + i \cdot W(t) .
 \end{aligned}$$

Somit folgt:

$$(3.2.21) \quad \frac{\frac{dW(t)}{dt} + x(t) - a}{W(t)} = i .$$

Die relativen Wertveränderungen korrigiert um die zwischenzeitlichen Erträge ( $x(t)$ ) und Kosten ( $a$  und allenfalls  $r$ ) entsprechen zu jedem Zeitpunkt ( $T > t > 0$ ) dem Zinssatz ( $i$ ).

### 2.2.3. Wirkung veränderter Zinssätze auf den Holzkapitalwert

Die Ableitung von  $S(t)$  nach dem Zinssatz ( $i$ ) erfasst die Wirkung veränderter Zinssätze auf die Holzkapitalwerte. Die Gleichung (A.2.10) zeigt die Ableitung von  $S(t)$  aus Gleichung (3.2.17s) nach dem Zinssatz:

$$\begin{aligned} (A.2.10) \quad \frac{dS(t)}{di} = & - (T-t)f(T)e^{-i(T-t)} - \int_t^T (t^*-t)x(t^*)e^{-i(t^*-t)} dt^* \\ & + \{Tf(T)e^{-iT} + \int_0^T t \cdot x(t)e^{-it} dt\} \frac{1-e^{-i(T-t)}}{1-e^{-iT}} \\ & - \{f(T)e^{-iT} - k + \int_0^T x(t)e^{-it} dt\} \\ & \cdot \frac{T(e^{-i(T-t)} - e^{-iT}) + t(e^{-i(2T-t)} - e^{-i(T-t)})}{(1-e^{-iT})^2} . \end{aligned}$$

Das Vorzeichen des Differentialquotienten in (A.2.10) ist a priori unbestimmt. In jedem Falle gelten die zwei Gleichungen in (A.2.11):

$$(A.2.11) \quad \frac{dS(0)}{di} = 0 \quad \text{und} \quad \frac{dS(T)}{di} = 0 ,$$

die durch Einsetzen von  $t=0$  und  $t=T$  in Gleichung (A.2.10) resultieren. Der komplexe Ausdruck in (A.2.10) zeigte in Simulationen,

dass in der Regel folgende Beziehung gilt:

$$(A.2.12) \quad \frac{dS(t)}{di} < 0 .$$

Die Holzkapitalwerte sinken, wenn der Zinssatz steigt. Für sehr negative Bodenwerte, tiefe Zinssätze und knapp positive Cash-flows kann die Umkehrung des Kleiner-als-Zeichens in (A.2.12) eintreffen. In allen für diese Arbeit unternommenen Kalkulationen bestätigte sich die Beziehung in (A.2.12), die im theoretischen (dritten) Teil in Graphik 3.2.2 (Abschnitt 2.5) als praktisch allgemeingültig dargestellt wurde.

#### 2.2.4. Tangentialität im Optimum

Das Optimum kennzeichnet sich dadurch, dass die  $S(t)$ -Kurve an die zugrundeliegende Bestandeskurve ( $f(t)$ ) tangential verläuft. Durch Einsetzen von  $t=T$  in die zweite Gleichung in (A.2.10) errechnet sich die Steigung der  $S(t)$ -Kurve im Punkt  $T$ :

$$(A.2.13) \quad \left. \frac{dS(t)}{dt} \right|_{t=T} = i \cdot f(T) + a + r - x(T) .$$

Die Umformung der Bedingung erster Ordnung für einen maximalen Bodenwert (Gleichung (A.1.3c)) ergibt, dies wiederum für Punkt  $T$ :

$$(A.2.14) \quad i \cdot f(T) = f'(T) + x(T) - a - r .$$

Die in (A.2.14) definierte Grösse  $i \cdot f(T)$  ist in (A.2.13) einzusetzen und es erweist sich:

$$(A.2.15) \quad \left. \frac{dS(t)}{dt} \right|_{t=T} = f'(T) \equiv \left. \frac{df(t)}{dt} \right|_{t=T} .$$

In  $T$  weisen beide Kurven ( $S(t)$  und  $f(t)$ ) die gleiche Steigung auf, sofern  $T$  die optimale Produktionsperiodenlänge bezeichnet. Die Graphik 3.3.1 und die Gleichung (3.3.4) behaupteten in Abschnitt 3.1.2 des dritten Teiles, was sich oben mathematisch zeigen liess.

### 2.3. Herleitung für den synchronisierten Wald

Der Holzkapitalbestand ( $H(T)$ ) des synchronisierten aus  $T$  Parzellen bestehenden Waldes wird über die Summierung aller einzelbestandlichen, einparzelligen Holzkapitalwerte gewonnen. Gleichung (3.2.22a) des Textteiles (Abschnitt 2.6 des dritten Teiles) zeigt den ersten Schritt. Ueber die in Gleichung (3.2.22b) enthaltene Umformung des doppelten Integrals im Durchforstungsteil gelangt man zu:

$$(A.2.16) \quad H(T) = \int_0^T f(T) e^{-i(T-t)} dt + \int_0^T x(t) \int_0^t e^{-i(t-t^*)} dt^* dt \\ - \frac{r}{i} \int_0^T (1 - e^{-i(T-t)}) dt - \frac{a}{i} \int_0^T (1 - e^{-i(T-t)}) dt .$$

Nach Lösen einiger Integrale folgt:

$$(3.2.23s) \quad H(T) = \frac{1}{i} f(T) (1 - e^{-iT}) + \frac{1}{i} X(T) - \frac{1}{i} \int_0^T x(t) e^{-it} dt - \frac{r}{i} T \\ + \frac{r}{i} \cdot \frac{1}{i} (1 - e^{-iT}) - \frac{a}{i} T + \frac{a}{i} \cdot \frac{1}{i} (1 - e^{-iT}) .$$

In Abweichung des Vorgehens im Textteil lasse man den ersten Bodenrententerm ( $\frac{r}{i}T$ ) vorerst unverändert, setze im zweiten Bodenrententerm die Gleichung (3.2.15s) adäquat ein und saldiere mit dem Durchforstungsintegral und dem letzten Managementterm:

$$(A.2.17) \quad H(T) = \frac{1}{i} f(T) (1 - e^{-iT}) + \frac{1}{i} X(T) - \frac{r}{i} T + \frac{1}{i} f(T) e^{-iT} - \frac{1}{i} k - \frac{a}{i} T .$$

Der Term  $\frac{1}{i} f(T) e^{-iT}$  hebt sich auf und es verbleibt:

$$(A.2.18) \quad H(T) = \frac{f(T) + X(T)}{i} - k - a \cdot T - B \cdot T .$$

Somit:

$$(3.2.25) \quad H(T) = W - B \cdot T \quad .$$

Die in  $S(t)$  und  $H(T)$  vertretene Kapitalauffassung wurde in ihrer Richtigkeit bestätigt.

### 3. Herleitung des Kapitalwertberichtigungsfaktors

Der Kapitalwertberichtigungsfaktor ( $r^*$ ) ist die Grösse, die anstelle der ursprünglichen Bodenrente ( $r^A$ ) eingesetzt dafür sorgt, dass die Differenz zwischen dem ursprünglichen Holzkapitalbestand ( $H^A$ ) und dem mit  $r^*$  korrigierten ( $H_B^A$ ) genau der Bodenwertzunahme im synchronisierten Wald entspricht. Man vergleiche die Abschnitte 3.2.1 und 3.2.2 des dritten Teiles.

Der ursprüngliche Waldwert ( $W^A$ ) besteht aus dem ursprünglichen Bodenwert ( $B^A$ ) von  $T^A$  Parzellen und dem ursprünglichen Holzkapitalwert ( $H^A$ ) wie folgt:

$$(3.3.5) \quad W^A = B^A \cdot T^A + H^A .$$

Bei Einsetzung des neuen Bodenwertes ( $B^N$ ) und entsprechend reduzierten Holzkapitalwert ( $H_B^A$ ) gilt:

$$(3.3.8) \quad W^A = B^N \cdot T^A + H_B^A .$$

Die Bodenwertsteigerung entspricht somit:

$$(3.3.9) \quad (B^N - B^A) \cdot T^A = H^A - H_B^A .$$

Obige Gleichung kann mittels Bodenrenten ( $r^A$  für ursprüngliche,  $r^N$  für neue, optimale) und mittels des Kapitalwertberichtigungsfaktors ( $r^*$ ) neu dargestellt werden.  $H^A$  und  $H_B^A$  werden auf dem Niveau der Gleichung (3.2.23s) festgehalten und gegeneinander saldiert. Die Abtriebs-, Durchforstungs- und Managementkostenteile heben sich gegenseitig auf, da für beide Holzkapitalausdrücke die gleiche Produktionsperiodendauer ( $T^A$ ) zu gelten hat. (3.3.9) wird zu:

$$(A.3.1) \quad \left( \frac{r^N}{i} - \frac{r^A}{i} \right) T^A = - \frac{r^A}{i} T^A + \frac{r^A}{i} \frac{1}{i} (1 - e^{-iT^A}) \\ + \frac{r^*}{i} T^A - \frac{r^*}{i} \frac{1}{i} (1 - e^{-iT^A}) .$$

Mit  $\frac{1}{I}$  durchmultiplizieren und auflösen nach  $r^*$  ergibt:

$$(3.3.10) \quad r^* = \frac{r^N \cdot T^A - r^A \frac{1}{I}(1 - e^{-iT^A})}{T^A - \frac{1}{I}(1 - e^{-iT^A})} .$$

Man beachte, dass der Kapitalwertberichtigungsfaktor rein graphischen Zwecken dient.

## ANHANG B: ERGEBNISSE DER COMPUTERSIMULATIONEN

Die Simulationen erfolgen für Fichte 14 m und Buche 16 m Oberhöhe im 50. Jahr für zwei angenommene Umtriebszeiten von 150 und 160 Jahren. Dieser Anhang besteht deshalb aus vier Teilen, die gleich aufgebaut sind. Jeder dieser vier Teilanhänge setzt sich aus neun Tabellen zusammen. Das angewandte Berechnungsverfahren entnehme man dem vierten Kapitel des vierten Teiles.

Bevor die Computertabellen zur Darstellung gelangen, werden die dazugehörigen Legenden kompakt dargestellt. Dieses Vorgehen erlaubt Vollständigkeit, ohne einen grossen Platzbedarf zu entwickeln.

### I. Holzmassen (Tabellen B.1.1, B.2.1, B.3.1, B.4.1)

|                 |               |                                |
|-----------------|---------------|--------------------------------|
| <u>Legende:</u> | T             | : Jahre und/oder Hektaren (ha) |
|                 | Bestand       | : $m^3/ha$ im Alter T          |
|                 | Durchforstung | : $m^3$ bis Alter T für T ha   |
|                 | Vorrat        | : $m^3/ha$                     |
|                 | Ernte         | : $m^3/ha$ pro Jahr            |
|                 | Ernte/Vorrat  | : % pro Jahr                   |

### II. Boden- und Kapitalwerte (Tabellen B.1.2 bis B.1.8, B.2.2 bis B.2.8, B.3.2 bis B.3.8, B.4.2 bis B.4.8)

|                 |        |                                                          |
|-----------------|--------|----------------------------------------------------------|
| <u>Legende:</u> | T      | : Jahre und/oder mögliche Umtriebszeiten                 |
|                 | f(T)   | : mit 55.33 Fr./ $m^3$ bewerteter Bestand                |
|                 | X(T,i) | : aufdiskontierte Durchforstungssumme                    |
|                 | f+X    | : = f(T) + X(T,i)                                        |
|                 | B      | : Bodenwert                                              |
|                 | Sa     | : Suboptimale Holzkapitalwerte                           |
|                 | Sab    | : Um die Bodenwertsteigerung reduzierte Holzkapitalwerte |
|                 | Sn     | : Optimale Holzkapitalwerte                              |

III. Volkswirtschaftliche Gewinne (Tabellen B.1.9, B.2.9, B.3.9, B.4.9)

|                 |             |                                                                                     |
|-----------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>Legende:</u> | a           | : Umfang der Variable bei der herkömmlichen Umtriebszeit (150 oder 160 Jahre)       |
|                 | n           | : Umfang der Variable bei optimaler Umtriebszeit                                    |
|                 | $\delta$    | : Differenz zwischen "a" und "n" ( $\delta V = V_n - V_a$ )                         |
|                 | VR          | : Holzvorrat ( $m^3/ha$ )                                                           |
|                 | HK          | : Holzkapitalwert des synchronisierten Waldes (Fr./ha)                              |
|                 | BO          | : Bodenwert (Fr./ha)                                                                |
|                 | WA          | : Wert des synchronisierten Waldes (Fr./ha)                                         |
|                 | $\delta HO$ | : Erlös aus Abtrieb der Ueberbestände (Fr./ha)                                      |
|                 | INV         | : Investitionen in Neubestände (Fr./ha)                                             |
|                 | HER         | : Nettoholzerlöse (Fr./ha)                                                          |
|                 | VWG         | : Volkswirtschaftlicher Gewinn (Fr./ha)                                             |
|                 | V%W         | : Volkswirtschaftlicher Gewinn in Prozent des Waldwertes (WAA)                      |
|                 | ER          | : Jährliche Ernte ( $m^3/ha$ und Jahr)                                              |
|                 | GW          | : Jährlicher Ertrag ("Gewinn") der Waldbewirtschaftung (Fr./ha und Jahr)            |
|                 | iHE         | : Zinsertrag aus Alternativinvestitionen (Fr./ha und Jahr)                          |
|                 | iVG         | : Jährlicher Mehrertrag (jährlicher volkswirtschaftlicher Gewinn) (Fr./ha und Jahr) |

## B.1 Fichte 14 m für ursprünglich 150 Jahre

### BERECHNUNG DES VOLKSWIRTSCHAFTLICHEN GEWINNES

Die Grundlage bildet: FICHTE 14 M  
\*\*\*\*\*

Eingabewerte:  
-----

Effekt. Massenzuwachs (fm/ha): 5.4

Gebietsbezeichnung: SCHWEIZ - Total öffentlicher Wald (Ø 75-84)

Umtriebszeit (bisher): 150  
Erntemenge (fm pro ha): 4.27

Inputkosten (Total einer ha): 7319.00  
Verwaltung/Unterhalt (pro ha): 172.69  
Nettoerlös (pro fm): 69.97

Tabelle B.1.1 HOLZMASSEN  
----- \*\*\*\*\*

alle Werte in fm/ha

| T   | Bestand | Durchforst. | Vorrat | Ernte | Ernte/Vorrat |
|-----|---------|-------------|--------|-------|--------------|
| 30  | 0.00    | 0.00        | 0.00   | 0.00  | 0.00         |
| 40  | 48.62   | 0.00        | 6.08   | 0.96  | 15.81        |
| 50  | 114.83  | 12.41       | 21.21  | 2.01  | 9.49         |
| 60  | 174.83  | 42.41       | 41.81  | 2.86  | 6.85         |
| 70  | 225.52  | 83.79       | 64.43  | 3.49  | 5.42         |
| 80  | 268.97  | 127.24      | 87.28  | 3.92  | 4.49         |
| 90  | 306.21  | 169.66      | 109.54 | 4.18  | 3.82         |
| 100 | 335.17  | 211.03      | 130.66 | 4.32  | 3.31         |
| 110 | 354.83  | 253.45      | 150.14 | 4.37  | 2.91         |
| 120 | 370.34  | 294.83      | 167.84 | 4.38  | 2.61         |
| 130 | 384.83  | 333.10      | 183.98 | 4.37  | 2.37         |
| 140 | 396.21  | 370.34      | 198.73 | 4.33  | 2.18         |
| 150 | 406.55  | 403.45      | 212.24 | 4.27  | 2.01         |

Tabellen B.1.2 bis B.1.8 BODEN- UND HOLZKAPITALWERTE  
\*\*\*\*\*

Zinssatz = 1 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X   | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0     | 0      | 7319  | 6796  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0     | -94345 | 8963  | 8456  | 8997  |
| 20  | 0     | 0      | 0     | -57827 | 10779 | 10289 | 10851 |
| 30  | 0     | 0      | 0     | -45629 | 12785 | 12315 | 12899 |
| 40  | 2690  | 0      | 2690  | -34057 | 15001 | 14552 | 15161 |
| 50  | 6353  | 722    | 7075  | -24966 | 16727 | 16301 | 16937 |
| 60  | 9673  | 2542   | 12215 | -18593 | 17611 | 17211 | 17877 |
| 70  | 12477 | 5214   | 17692 | -14285 | 17925 | 17555 | 18254 |
| 80  | 14881 | 8286   | 23167 | -11562 | 18153 | 17814 | 18550 |
| 90  | 16942 | 11619  | 28561 | -9924  | 18464 | 18160 | 18936 |
| 100 | 18544 | 15241  | 33786 | -9063  | 18868 | 18603 | 19424 |
| 110 | 19632 | 19302  | 38934 | -8683  | 19254 | 19032 | 19902 |
| 120 | 20490 | 23728  | 44218 | -8547  | 19740 | 19566 | 20490 |
| 130 | 21292 | 28436  | 49728 | -8559  | 20458 | 20336 | 0     |
| 140 | 21921 | 33577  | 55498 | -8672  | 21311 | 21247 | 0     |
| 150 | 22494 | 39015  | 61508 | -8874  | 22494 | 22494 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode: 120 Jahre  
 Optimaler Wert des Bodens: -8547 Fr./ha  
 Kapitalwertberichtigungsfaktor: -82 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 1.5 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X   | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0     | 0      | 7319  | 6857  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0     | -64421 | 8633  | 8180  | 8683  |
| 20  | 0     | 0      | 0     | -39933 | 10158 | 9715  | 10266 |
| 30  | 0     | 0      | 0     | -31830 | 11927 | 11496 | 12103 |
| 40  | 2690  | 0      | 2690  | -24518 | 13981 | 13564 | 14235 |
| 50  | 6353  | 740    | 7093  | -19036 | 15624 | 15223 | 15969 |
| 60  | 9673  | 2647   | 12320 | -15367 | 16483 | 16101 | 16933 |
| 70  | 12477 | 5538   | 18016 | -13004 | 16802 | 16441 | 17374 |
| 80  | 14881 | 9017   | 23898 | -11594 | 17048 | 16713 | 17763 |
| 90  | 16942 | 12993  | 29934 | -10809 | 17396 | 17090 | 18275 |
| 100 | 18544 | 17545  | 36089 | -10449 | 17861 | 17589 | 18932 |
| 110 | 19632 | 22889  | 42521 | -10336 | 18339 | 18107 | 19632 |
| 120 | 20490 | 29030  | 49521 | -10339 | 18953 | 18769 | 0     |
| 130 | 21292 | 35972  | 57264 | -10406 | 19856 | 19723 | 0     |
| 140 | 21921 | 43967  | 65889 | -10512 | 20963 | 20891 | 0     |
| 150 | 22494 | 52999  | 75492 | -10648 | 22494 | 22494 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode: 110 Jahre  
 Optimaler Wert des Bodens: -10336 Fr./ha  
 Kapitalwertberichtigungsfaktor: -152 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 2 %

-----

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X   | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0     | 0      | 7319  | 6923  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0     | -49375 | 8365  | 7974  | 8428  |
| 20  | 0     | 0      | 0     | -31015 | 9640  | 9255  | 9779  |
| 30  | 0     | 0      | 0     | -24974 | 11195 | 10816 | 11426 |
| 40  | 2690  | 0      | 2690  | -19785 | 13090 | 12720 | 13435 |
| 50  | 6353  | 758    | 7112  | -16076 | 14641 | 14282 | 15124 |
| 60  | 9673  | 2757   | 12430 | -13713 | 15459 | 15111 | 16110 |
| 70  | 12477 | 5888   | 18366 | -12271 | 15759 | 15428 | 16616 |
| 80  | 14881 | 9832   | 24713 | -11465 | 16000 | 15687 | 17106 |
| 90  | 16942 | 14576  | 31518 | -11058 | 16356 | 16066 | 17767 |
| 100 | 18544 | 20296  | 38841 | -10906 | 16854 | 16591 | 18636 |
| 110 | 19632 | 27332  | 46964 | -10891 | 17397 | 17168 | 19632 |
| 120 | 20490 | 35845  | 56335 | -10934 | 18122 | 17935 | 0     |
| 130 | 21292 | 46033  | 67325 | -11004 | 19196 | 19060 | 0     |
| 140 | 21921 | 58389  | 80310 | -11086 | 20568 | 20493 | 0     |
| 150 | 22494 | 73198  | 95691 | -11176 | 22494 | 22494 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

110 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-10891 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-215 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 2.5 %

-----

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7319  | 6996  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -40358 | 8152  | 7831  | 8221  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -25687 | 9219  | 8901  | 9375  |
| 30  | 0     | 0      | 0      | -20895 | 10584 | 10270 | 10853 |
| 40  | 2690  | 0      | 2690   | -16974 | 12331 | 12022 | 12745 |
| 50  | 6353  | 777    | 7130   | -14304 | 13791 | 13488 | 14389 |
| 60  | 9673  | 2873   | 12546  | -12689 | 14559 | 14264 | 15393 |
| 70  | 12477 | 6268   | 18745  | -11760 | 14830 | 14545 | 15966 |
| 80  | 14881 | 10743  | 25624  | -11279 | 15047 | 14775 | 16570 |
| 90  | 16942 | 16407  | 33349  | -11063 | 15390 | 15134 | 17407 |
| 100 | 18544 | 23592  | 42137  | -11007 | 15893 | 15658 | 18544 |
| 110 | 19632 | 32855  | 52487  | -11028 | 16473 | 16265 | 0     |
| 120 | 20490 | 44648  | 65138  | -11077 | 17279 | 17106 | 0     |
| 130 | 21292 | 59549  | 80841  | -11135 | 18506 | 18377 | 0     |
| 140 | 21921 | 78559  | 100480 | -11194 | 20141 | 20069 | 0     |
| 150 | 22494 | 102634 | 125128 | -11252 | 22494 | 22494 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

100 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-11007 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-273 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 3 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7319  | 7073  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -34357 | 7984  | 7740  | 8051  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -22155 | 8878  | 8635  | 9035  |
| 30  | 0     | 0      | 0      | -18203 | 10080 | 9838  | 10357 |
| 40  | 2690  | 0      | 2690   | -15122 | 11695 | 11456 | 12134 |
| 50  | 6353  | 796    | 7149   | -13125 | 13069 | 12833 | 13725 |
| 60  | 9673  | 2994   | 12667  | -11982 | 13787 | 13556 | 14737 |
| 70  | 12477 | 6678   | 19156  | -11364 | 14023 | 13798 | 15365 |
| 80  | 14881 | 11762  | 26643  | -11071 | 14207 | 13990 | 16078 |
| 90  | 16942 | 18527  | 35469  | -10959 | 14521 | 14315 | 17102 |
| 100 | 18544 | 27553  | 46097  | -10947 | 15009 | 14817 | 18544 |
| 110 | 19632 | 39749  | 59381  | -10978 | 15599 | 15426 | 0     |
| 120 | 20490 | 56074  | 76564  | -11021 | 16457 | 16311 | 0     |
| 130 | 21292 | 77814  | 99105  | -11065 | 17811 | 17700 | 0     |
| 140 | 21921 | 106964 | 128885 | -11105 | 19695 | 19632 | 0     |
| 150 | 22494 | 145873 | 168367 | -11141 | 22494 | 22494 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

100 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-10947 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-327 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 4 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7319  | 7180  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -26876 | 7749  | 7610  | 7804  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -17781 | 8385  | 8246  | 8523  |
| 30  | 0     | 0      | 0      | -14899 | 9326  | 9188  | 9586  |
| 40  | 2690  | 0      | 2690   | -12854 | 10719 | 10582 | 11161 |
| 50  | 6353  | 836    | 7189   | -11658 | 11946 | 11810 | 12655 |
| 60  | 9673  | 3256   | 12929  | -11047 | 12579 | 12443 | 13684 |
| 70  | 12477 | 7606   | 20083  | -10760 | 12748 | 12615 | 14440 |
| 80  | 14881 | 14183  | 29064  | -10650 | 12861 | 12731 | 15421 |
| 90  | 16942 | 23849  | 40791  | -10626 | 13097 | 12971 | 16942 |
| 100 | 18544 | 38088  | 56633  | -10640 | 13516 | 13396 | 0     |
| 110 | 19632 | 59235  | 78867  | -10666 | 14066 | 13956 | 0     |
| 120 | 20490 | 90468  | 110959 | -10691 | 14951 | 14854 | 0     |
| 130 | 21292 | 136491 | 157783 | -10712 | 16469 | 16393 | 0     |
| 140 | 21921 | 204548 | 226469 | -10729 | 18786 | 18741 | 0     |
| 150 | 22494 | 305009 | 327502 | -10742 | 22494 | 22494 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

90 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-10626 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-424 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 5 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7319  | 7248  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -22411 | 7601  | 7530  | 7640  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -15200 | 8061  | 7990  | 8163  |
| 30  | 0     | 0      | 0      | -12976 | 8810  | 8739  | 9015  |
| 40  | 2690  | 0      | 2690   | -11539 | 10031 | 9960  | 10404 |
| 50  | 6353  | 877    | 7230   | -10781 | 11142 | 11071 | 11788 |
| 60  | 9673  | 3546   | 13219  | -10439 | 11710 | 11640 | 12801 |
| 70  | 12477 | 8699   | 21176  | -10302 | 11832 | 11762 | 13648 |
| 80  | 14881 | 17237  | 32118  | -10262 | 11885 | 11816 | 14881 |
| 90  | 16942 | 31072  | 48014  | -10262 | 12044 | 11976 | 0     |
| 100 | 18544 | 53535  | 72080  | -10277 | 12375 | 12310 | 0     |
| 110 | 19632 | 90198  | 109830 | -10292 | 12842 | 12781 | 0     |
| 120 | 20490 | 149846 | 170336 | -10304 | 13676 | 13622 | 0     |
| 130 | 21292 | 246786 | 268077 | -10313 | 15254 | 15210 | 0     |
| 140 | 21921 | 404617 | 426538 | -10319 | 17897 | 17869 | 0     |
| 150 | 22494 | 661416 | 683910 | -10324 | 22494 | 22494 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode: 80 Jahre  
 Optimaler Wert des Bodens: -10262 Fr./ha  
 Kapitalwertberichtigungsfaktor: -513 Fr./ha und Jahr

Tabelle B.1.9 VOLKSWIRTSCHAFTLICHE GEWINNE  
\*\*\*\*\*

| Var              | 1 %    | 1.5 %  | 2 %    | 2.5 %  | 3 %    | 4 %     | 5 %     |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Bestandesgrößen  |        |        |        |        |        |         |         |
| VRa              | 212.24 | 212.24 | 212.24 | 212.24 | 212.24 | 212.24  | 212.24  |
| VRn              | 167.84 | 150.14 | 150.14 | 130.66 | 130.66 | 109.54  | 87.28   |
| SVR              | -44.40 | -62.10 | -62.10 | -81.59 | -81.59 | -102.70 | -124.96 |
| HKa              | 16603  | 15801  | 15041  | 14344  | 13717  | 12674   | 11870   |
| HKn              | 15848  | 14784  | 14227  | 13260  | 12824  | 11589   | 10459   |
| SHK              | -754   | -1016  | -814   | -1084  | -893   | -1085   | -1411   |
| BOa              | -8874  | -10648 | -11176 | -11252 | -11141 | -10742  | -10324  |
| BOn              | -8547  | -10336 | -10891 | -11007 | -10947 | -10626  | -10262  |
| BO               | 326    | 312    | 285    | 245    | 194    | 116     | 62      |
| WAa              | 7729   | 5153   | 3864   | 3092   | 2576   | 1932    | 1546    |
| WAn              | 7301   | 4448   | 3336   | 2253   | 1878   | 963     | 197     |
| SWA              | -428   | -704   | -528   | -839   | -699   | -969    | -1349   |
| SHO              | 5455   | 7147   | 7147   | 8756   | 8756   | 10252   | 11593   |
| INV              | 3170   | 3942   | 3794   | 4420   | 4275   | 4636    | 4881    |
| HER              | 2286   | 3204   | 3353   | 4336   | 4481   | 5616    | 6712    |
| VWG              | 1858   | 2500   | 2825   | 3497   | 3782   | 4647    | 5364    |
| VZW              | 24.03  | 48.52  | 73.09  | 113.13 | 146.81 | 240.52  | 346.98  |
| Jährliche Ströme |        |        |        |        |        |         |         |
| ERa              | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27    | 4.27    |
| ERn              | 4.38   | 4.37   | 4.37   | 4.32   | 4.32   | 4.18    | 3.92    |
| ER               | 0.11   | 0.10   | 0.10   | 0.05   | 0.05   | -0.09   | -0.35   |
| GWa              | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29   | 77.29   |
| GWn              | 73.01  | 66.73  | 66.73  | 56.33  | 56.33  | 38.53   | 9.84    |
| SGW              | -4.28  | -10.56 | -10.56 | -20.96 | -20.96 | -38.76  | -67.45  |
| iHE              | 22.86  | 48.06  | 67.05  | 108.40 | 134.43 | 224.65  | 335.62  |
| iVG              | 18.58  | 37.50  | 56.49  | 87.44  | 113.47 | 185.89  | 268.18  |

## B.2 Fichte 14 m für ursprünglich 160 Jahre

### BERECHNUNG DES VOLKSWIRTSCHAFTLICHEN GEWINNES

Die Grundlage bildet: FICHTE 14 M  
\*\*\*\*\*

Eingabewerte:

Effekt. Massenzuwachs (fm/ha): 5.4

Gebietsbezeichnung: SCHWEIZ - Total öffentlicher Wald (Ø 75-84)

Umtriebszeit (bisher): 160  
Erntemenge (fm pro ha): 4.27

Inputkosten (Total einer ha): 7807.00  
Verwaltung/Unterhalt (pro ha): 172.69  
Nettoerlös (pro fm): 69.97

Tabelle B.2.1 HOLZMASSEN  
\*\*\*\*\*

alle Werte in fm/ha

| T   | Bestand | Durchforst. | Vorrat | Ernte | Ernte/Vorrat |
|-----|---------|-------------|--------|-------|--------------|
| 30  | 0.00    | 0.00        | 0.00   | 0.00  | 0.00         |
| 40  | 49.34   | 0.00        | 6.17   | 0.98  | 15.81        |
| 50  | 116.53  | 12.60       | 21.52  | 2.04  | 9.49         |
| 60  | 177.42  | 43.04       | 42.43  | 2.91  | 6.85         |
| 70  | 228.86  | 85.04       | 65.39  | 3.55  | 5.42         |
| 80  | 272.95  | 129.13      | 88.58  | 3.97  | 4.49         |
| 90  | 310.75  | 172.17      | 111.16 | 4.24  | 3.82         |
| 100 | 340.14  | 214.16      | 132.59 | 4.38  | 3.31         |
| 110 | 360.09  | 257.21      | 152.37 | 4.44  | 2.91         |
| 120 | 375.83  | 299.20      | 170.33 | 4.45  | 2.61         |
| 130 | 390.53  | 338.04      | 186.71 | 4.43  | 2.37         |
| 140 | 402.08  | 375.83      | 201.68 | 4.39  | 2.18         |
| 150 | 412.58  | 409.43      | 215.39 | 4.33  | 2.01         |
| 160 | 422.03  | 441.97      | 228.01 | 4.27  | 1.87         |

Tabellen B.2.2 bis B.2.8 BODEN- UND HOLZKAPITALWERTE

\*\*\*\*\*

Zinssatz = 1 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X   | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0     | 0      | 7807  | 7023  | 7807  |
| 10  | 0     | 0      | 0     | -99697 | 9442  | 8679  | 9494  |
| 20  | 0     | 0      | 0     | -60532 | 11248 | 10509 | 11357 |
| 30  | 0     | 0      | 0     | -47520 | 13244 | 12529 | 13416 |
| 40  | 2730  | 0      | 2730  | -35461 | 15448 | 14762 | 15689 |
| 50  | 6447  | 733    | 7180  | -26049 | 17150 | 16495 | 17468 |
| 60  | 9816  | 2580   | 12396 | -19457 | 17992 | 17372 | 18396 |
| 70  | 12662 | 5291   | 17954 | -14997 | 18251 | 17668 | 18748 |
| 80  | 15102 | 8409   | 23511 | -12169 | 18415 | 17874 | 19016 |
| 90  | 17193 | 11792  | 28985 | -10457 | 18657 | 18163 | 19373 |
| 100 | 18819 | 15467  | 34287 | -9544  | 18985 | 18543 | 19828 |
| 110 | 19923 | 19588  | 39511 | -9127  | 19287 | 18901 | 20269 |
| 120 | 20794 | 24080  | 44874 | -8963  | 19681 | 19358 | 20818 |
| 130 | 21607 | 28858  | 50465 | -8952  | 20300 | 20046 | 21607 |
| 140 | 22246 | 34074  | 56321 | -9049  | 21044 | 20867 | 0     |
| 150 | 22827 | 39593  | 62420 | -9239  | 22111 | 22018 | 0     |
| 160 | 23350 | 45628  | 68978 | -9447  | 23350 | 23350 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

130 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-8952 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-85 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 1.5 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X   | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0     | 0      | 7807  | 7205  | 7807  |
| 10  | 0     | 0      | 0     | -67949 | 9112  | 8520  | 9178  |
| 20  | 0     | 0      | 0     | -41828 | 10627 | 10046 | 10770 |
| 30  | 0     | 0      | 0     | -33185 | 12385 | 11817 | 12617 |
| 40  | 2730  | 0      | 2730  | -25557 | 14425 | 13873 | 14760 |
| 50  | 6447  | 751    | 7198  | -19870 | 16041 | 15507 | 16497 |
| 60  | 9816  | 2686   | 12502 | -16066 | 16854 | 16340 | 17449 |
| 70  | 12662 | 5620   | 18283 | -13612 | 17108 | 16619 | 17865 |
| 80  | 15102 | 9151   | 24253 | -12140 | 17279 | 16817 | 18223 |
| 90  | 17193 | 13185  | 30378 | -11313 | 17539 | 17110 | 18701 |
| 100 | 18819 | 17805  | 36624 | -10923 | 17903 | 17512 | 19319 |
| 110 | 19923 | 23229  | 43152 | -10790 | 18264 | 17916 | 19973 |
| 120 | 20794 | 29461  | 50255 | -10778 | 18745 | 18447 | 20794 |
| 130 | 21607 | 36506  | 58113 | -10833 | 19491 | 19252 | 0     |
| 140 | 22246 | 44619  | 66865 | -10930 | 20419 | 20248 | 0     |
| 150 | 22827 | 53784  | 76612 | -11060 | 21747 | 21655 | 0     |
| 160 | 23350 | 64359  | 87709 | -11190 | 23350 | 23350 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

120 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-10778 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-158 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 2 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7807  | 7339  | 7807  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -52091 | 8846  | 8383  | 8921  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -32507 | 10114 | 9656  | 10280 |
| 30  | 0     | 0      | 0      | -26064 | 11658 | 11207 | 11936 |
| 40  | 2730  | 0      | 2730   | -20644 | 13541 | 13098 | 13955 |
| 50  | 6447  | 770    | 7217   | -16790 | 15067 | 14634 | 15646 |
| 60  | 9816  | 2798   | 12614  | -14334 | 15836 | 15415 | 16617 |
| 70  | 12662 | 5976   | 18638  | -12831 | 16069 | 15663 | 17096 |
| 80  | 15102 | 9978   | 25080  | -11984 | 16225 | 15836 | 17551 |
| 90  | 17193 | 14792  | 31985  | -11550 | 16478 | 16112 | 18170 |
| 100 | 18819 | 20597  | 39416  | -11380 | 16851 | 16512 | 18989 |
| 110 | 19923 | 27737  | 47660  | -11352 | 17242 | 16935 | 19923 |
| 120 | 20794 | 36376  | 57170  | -11386 | 17783 | 17516 | 0     |
| 130 | 21607 | 46715  | 68323  | -11450 | 18634 | 18415 | 0     |
| 140 | 22246 | 59254  | 81501  | -11527 | 19736 | 19576 | 0     |
| 150 | 22827 | 74283  | 97110  | -11614 | 21336 | 21248 | 0     |
| 160 | 23350 | 92538  | 115888 | -11695 | 23350 | 23350 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

110 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-11352 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-224 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 2.5 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7807  | 7453  | 7807  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -42588 | 8636  | 8284  | 8712  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -26939 | 9697  | 9348  | 9871  |
| 30  | 0     | 0      | 0      | -21828 | 11056 | 10710 | 11355 |
| 40  | 2730  | 0      | 2730   | -17728 | 12795 | 12453 | 13254 |
| 50  | 6447  | 789    | 7236   | -14949 | 14233 | 13896 | 14896 |
| 60  | 9816  | 2915   | 12732  | -13266 | 14956 | 14626 | 15881 |
| 70  | 12662 | 6360   | 19023  | -12293 | 15159 | 14837 | 16419 |
| 80  | 15102 | 10902  | 26004  | -11784 | 15287 | 14976 | 16977 |
| 90  | 17193 | 16650  | 33843  | -11551 | 15517 | 15220 | 17756 |
| 100 | 18819 | 23942  | 42761  | -11482 | 15876 | 15598 | 18819 |
| 110 | 19923 | 33342  | 53265  | -11496 | 16271 | 16016 | 0     |
| 120 | 20794 | 45310  | 66104  | -11539 | 16842 | 16616 | 0     |
| 130 | 21607 | 60432  | 82039  | -11593 | 17771 | 17582 | 0     |
| 140 | 22246 | 79724  | 101970 | -11649 | 19025 | 18884 | 0     |
| 150 | 22827 | 104156 | 126983 | -11705 | 20893 | 20814 | 0     |
| 160 | 23350 | 135365 | 158715 | -11754 | 23350 | 23350 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

100 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-11482 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-285 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 3 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7807  | 7545  | 7807  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -36264 | 8471  | 8210  | 8543  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -23248 | 9363  | 9103  | 9531  |
| 30  | 0     | 0      | 0      | -19033 | 10561 | 10303 | 10860 |
| 40  | 2730  | 0      | 2730   | -15808 | 12172 | 11916 | 12646 |
| 50  | 6447  | 808    | 7255   | -13726 | 13529 | 13276 | 14238 |
| 60  | 9816  | 3039   | 12855  | -12531 | 14208 | 13958 | 15233 |
| 70  | 12662 | 6777   | 19440  | -11882 | 14380 | 14134 | 15829 |
| 80  | 15102 | 11936  | 27038  | -11569 | 14476 | 14237 | 16495 |
| 90  | 17193 | 18802  | 35995  | -11444 | 14672 | 14442 | 17458 |
| 100 | 18819 | 27961  | 46781  | -11424 | 15004 | 14785 | 18819 |
| 110 | 19923 | 40339  | 60262  | -11451 | 15382 | 15178 | 0     |
| 120 | 20794 | 56905  | 77699  | -11490 | 15957 | 15774 | 0     |
| 130 | 21607 | 78967  | 100575 | -11531 | 16933 | 16777 | 0     |
| 140 | 22246 | 108549 | 130796 | -11570 | 18311 | 18193 | 0     |
| 150 | 22827 | 148036 | 170863 | -11605 | 20432 | 20364 | 0     |
| 160 | 23350 | 201035 | 224385 | -11634 | 23350 | 23350 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

100 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-11424 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-341 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 4 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7807  | 7669  | 7807  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -28381 | 8238  | 8100  | 8294  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -18679 | 8876  | 8738  | 9015  |
| 30  | 0     | 0      | 0      | -15604 | 9820  | 9683  | 10082 |
| 40  | 2730  | 0      | 2730   | -13460 | 11218 | 11081 | 11662 |
| 50  | 6447  | 848    | 7295   | -12208 | 12439 | 12303 | 13152 |
| 60  | 9816  | 3305   | 13121  | -11566 | 13046 | 12910 | 14157 |
| 70  | 12662 | 7718   | 20381  | -11261 | 13166 | 13032 | 14867 |
| 80  | 15102 | 14393  | 29495  | -11141 | 13202 | 13070 | 15776 |
| 90  | 17193 | 24203  | 41396  | -11110 | 13327 | 13198 | 17193 |
| 100 | 18819 | 38653  | 57472  | -11121 | 13582 | 13457 | 0     |
| 110 | 19923 | 60113  | 80036  | -11145 | 13890 | 13771 | 0     |
| 120 | 20794 | 91809  | 112603 | -11169 | 14415 | 14305 | 0     |
| 130 | 21607 | 138515 | 160122 | -11189 | 15405 | 15309 | 0     |
| 140 | 22246 | 207580 | 229826 | -11205 | 16940 | 16865 | 0     |
| 150 | 22827 | 309530 | 332357 | -11217 | 19496 | 19451 | 0     |
| 160 | 23350 | 460371 | 483721 | -11227 | 23350 | 23350 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

90 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-11110 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-444 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 5 %  
-----

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i)  | f+X     | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0       | 0       | 0      | 7807  | 7738  | 7807  |
| 10  | 0     | 0       | 0       | -23675 | 8092  | 8022  | 8130  |
| 20  | 0     | 0       | 0       | -15983 | 8555  | 8486  | 8656  |
| 30  | 0     | 0       | 0       | -13611 | 9310  | 9241  | 9512  |
| 40  | 2730  | 0       | 2730    | -12101 | 10540 | 10471 | 10907 |
| 50  | 6447  | 890     | 7337    | -11306 | 11655 | 11586 | 12289 |
| 60  | 9816  | 3599    | 13415   | -10944 | 12209 | 12140 | 13281 |
| 70  | 12662 | 8827    | 21490   | -10796 | 12297 | 12228 | 14082 |
| 80  | 15102 | 17493   | 32594   | -10750 | 12292 | 12224 | 15237 |
| 90  | 17193 | 31533   | 48726   | -10748 | 12357 | 12290 | 17193 |
| 100 | 18819 | 54329   | 73148   | -10760 | 12538 | 12472 | 0     |
| 110 | 19923 | 91536   | 111459  | -10775 | 12758 | 12695 | 0     |
| 120 | 20794 | 152067  | 172861  | -10786 | 13192 | 13132 | 0     |
| 130 | 21607 | 250444  | 272051  | -10795 | 14120 | 14066 | 0     |
| 140 | 22246 | 410615  | 432861  | -10801 | 15705 | 15662 | 0     |
| 150 | 22827 | 671221  | 694048  | -10805 | 18585 | 18558 | 0     |
| 160 | 23350 | 1095645 | 1118995 | -10808 | 23350 | 23350 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode: 90 Jahre  
 Optimaler Wert des Bodens: -10748 Fr./ha  
 Kapitalwertberichtigungsfaktor: -537 Fr./ha und Jahr

Tabelle B.2.9 VOLKSWIRTSCHAFTLICHE GEWINNE  
\*\*\*\*\*

| Var              | 1 %    | 1.5 %  | 2 %    | 2.5 %  | 3 %    | 4 %     | 5 %     |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Bestandesgrößen  |        |        |        |        |        |         |         |
| VRa              | 228.01 | 228.01 | 228.01 | 228.01 | 228.01 | 228.01  | 228.01  |
| VRn              | 186.71 | 170.33 | 152.37 | 132.59 | 132.59 | 111.16  | 111.16  |
| ΔVR              | -41.30 | -57.67 | -75.64 | -95.42 | -95.42 | -116.84 | -116.84 |
| HKa              | 17175  | 16343  | 15559  | 14846  | 14210  | 13159   | 12354   |
| HKn              | 16686  | 15677  | 14694  | 13719  | 13288  | 12046   | 11496   |
| ΔHK              | -489   | -666   | -865   | -1127  | -922   | -1113   | -858    |
| BOa              | -9447  | -11190 | -11695 | -11754 | -11634 | -11227  | -10808  |
| BOn              | -8952  | -10778 | -11352 | -11482 | -11424 | -11110  | -10748  |
| ΔBO              | 494    | 412    | 342    | 272    | 209    | 117     | 61      |
| WAa              | 7729   | 5153   | 3864   | 3092   | 2576   | 1932    | 1546    |
| WAn              | 7734   | 4899   | 3341   | 2237   | 1864   | 936     | 749     |
| ΔWA              | 5      | -253   | -523   | -854   | -712   | -996    | -797    |
| ΔHO              | 5339   | 7015   | 8624   | 10155  | 10155  | 11578   | 11578   |
| INV              | 3129   | 3919   | 4592   | 5145   | 4983   | 5270    | 5030    |
| HER              | 2211   | 3096   | 4032   | 5011   | 5172   | 6308    | 6549    |
| VWG              | 2216   | 2842   | 3509   | 4156   | 4460   | 5312    | 5752    |
| VZW              | 28.67  | 55.17  | 90.81  | 134.43 | 173.12 | 274.93  | 372.10  |
| Jährliche Ströme |        |        |        |        |        |         |         |
| ERa              | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27    | 4.27    |
| ERn              | 4.43   | 4.45   | 4.44   | 4.38   | 4.38   | 4.24    | 4.24    |
| ΔER              | 0.16   | 0.18   | 0.17   | 0.11   | 0.11   | -0.03   | -0.03   |
| GWA              | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29   | 77.29   |
| GWn              | 77.34  | 73.49  | 66.83  | 55.93  | 55.93  | 37.44   | 37.44   |
| ΔGW              | 0.05   | -3.80  | -10.46 | -21.36 | -21.36 | -39.85  | -39.85  |
| iHE              | 22.11  | 46.44  | 80.65  | 125.26 | 155.16 | 252.33  | 327.44  |
| iVG              | 22.16  | 42.64  | 70.18  | 103.90 | 133.80 | 212.49  | 287.59  |

### B.3 Buche 16 m für ursprünglich 150 Jahre

#### BERECHNUNG DES VOLKSWIRTSCHAFTLICHEN GEWINNES

Die Grundlage bildet: BUCHE 16 M  
\*\*\*\*\*

Eingabewerte:  
-----

Effekt. Massenzuwachs (fm/ha): 5.4

Gebietsbezeichnung: SCHWEIZ - Total öffentlicher Wald (Ø 75-84)

Umtriebszeit (bisher): 150  
Erntemenge (fm pro ha): 4.27

Inputkosten (Total einer ha): 7319.00  
Verwaltung/Unterhalt (pro ha): 172.69  
Nettoerlös (pro fm): 69.97

Tabelle B.3.1 HOLZMASSEN  
----- \*\*\*\*\*

alle Werte in fm/ha

| T   | Bestand | Durchforst. | Vorrat | Ernte | Ernte/Vorrat |
|-----|---------|-------------|--------|-------|--------------|
| 30  | 34.99   | 0.00        | 5.83   | 0.92  | 15.81        |
| 40  | 83.76   | 3.18        | 19.22  | 1.72  | 8.94         |
| 50  | 128.29  | 25.45       | 36.58  | 2.43  | 6.65         |
| 60  | 171.75  | 58.31       | 55.48  | 3.03  | 5.46         |
| 70  | 209.92  | 98.60       | 74.82  | 3.49  | 4.66         |
| 80  | 243.85  | 143.13      | 93.83  | 3.82  | 4.08         |
| 90  | 273.53  | 188.72      | 112.15 | 4.06  | 3.62         |
| 100 | 297.92  | 235.37      | 129.50 | 4.22  | 3.26         |
| 110 | 315.94  | 282.02      | 145.63 | 4.30  | 2.95         |
| 120 | 328.66  | 328.66      | 160.36 | 4.33  | 2.70         |
| 130 | 341.39  | 371.07      | 173.79 | 4.33  | 2.49         |
| 140 | 350.93  | 412.42      | 186.10 | 4.31  | 2.32         |
| 150 | 360.47  | 449.53      | 197.41 | 4.27  | 2.16         |

Tabellen B.3.2 bis B.3.8 BODEN- UND HOLZKAPITALWERTE  
-----  
\*\*\*\*\*

Zinssatz = 1 %  
-----

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X   | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0     | 0      | 7319  | 7176  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0     | -94545 | 9033  | 8896  | 9044  |
| 20  | 0     | 0      | 0     | -57827 | 10929 | 10795 | 10949 |
| 30  | 1936  | 0      | 1936  | -40064 | 13023 | 12894 | 13054 |
| 40  | 4634  | 185    | 4819  | -29702 | 15150 | 15027 | 15194 |
| 50  | 7098  | 1499   | 8597  | -22606 | 16390 | 16274 | 16448 |
| 60  | 9503  | 3567   | 13070 | -17546 | 17143 | 17034 | 17216 |
| 70  | 11615 | 6283   | 17898 | -14081 | 17544 | 17443 | 17634 |
| 80  | 13492 | 9530   | 23021 | -11682 | 17740 | 17647 | 17849 |
| 90  | 15134 | 13178  | 28312 | -10097 | 17895 | 17812 | 18024 |
| 100 | 16483 | 17269  | 33752 | -9083  | 18004 | 17932 | 18156 |
| 110 | 17481 | 21788  | 39269 | -8515  | 18125 | 18064 | 18302 |
| 120 | 18184 | 26781  | 44965 | -8223  | 18258 | 18210 | 18464 |
| 130 | 18888 | 32049  | 50937 | -8102  | 18652 | 18619 | 18888 |
| 140 | 19416 | 37806  | 57222 | -8102  | 19149 | 19131 | 0     |
| 150 | 19944 | 43919  | 63863 | -8191  | 19944 | 19944 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode: 130 Jahre  
 Optimaler Wert des Bodens: -8102 Fr./ha  
 Kapitalwertberichtigungsfaktor: -80 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 1.5 %  
-----

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X   | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0     | 0      | 7319  | 7150  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0     | -64421 | 8721  | 8555  | 8739  |
| 20  | 0     | 0      | 0     | -39933 | 10348 | 10186 | 10388 |
| 30  | 1936  | 0      | 1936  | -28392 | 12236 | 12078 | 12301 |
| 40  | 4634  | 190    | 4824  | -21897 | 14238 | 14085 | 14331 |
| 50  | 7098  | 1547   | 8645  | -17632 | 15424 | 15277 | 15550 |
| 60  | 9503  | 3754   | 13257 | -14717 | 16168 | 16028 | 16333 |
| 70  | 11615 | 6758   | 18373 | -12809 | 16589 | 16457 | 16800 |
| 80  | 13492 | 10498  | 23989 | -11554 | 16826 | 16703 | 17088 |
| 90  | 15134 | 14900  | 30034 | -10774 | 17036 | 16924 | 17359 |
| 100 | 16483 | 20073  | 36556 | -10313 | 17218 | 17118 | 17611 |
| 110 | 17481 | 26076  | 43556 | -10086 | 17429 | 17343 | 17903 |
| 120 | 18184 | 33042  | 51227 | -9996  | 17673 | 17605 | 18242 |
| 130 | 18888 | 40875  | 59763 | -9984  | 18210 | 18161 | 18888 |
| 140 | 19416 | 49901  | 69317 | -10025 | 18895 | 18869 | 0     |
| 150 | 19944 | 60124  | 80068 | -10099 | 19944 | 19944 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode: 130 Jahre  
 Optimaler Wert des Bodens: -9984 Fr./ha  
 Kapitalwertberichtigungsfaktor: -149 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 2 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7319  | 7155  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -49375 | 8461  | 8299  | 8487  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -31015 | 9853  | 9693  | 9910  |
| 30  | 1936  | 0      | 1936   | -22588 | 11550 | 11393 | 11646 |
| 40  | 4634  | 194    | 4828   | -18015 | 13424 | 13270 | 13567 |
| 50  | 7098  | 1597   | 8695   | -15140 | 14542 | 14393 | 14742 |
| 60  | 9503  | 3954   | 13457  | -13263 | 15258 | 15115 | 15528 |
| 70  | 11615 | 7281   | 18896  | -12094 | 15678 | 15541 | 16033 |
| 80  | 13492 | 11596  | 25088  | -11369 | 15930 | 15801 | 16389 |
| 90  | 15134 | 16920  | 32055  | -10949 | 16173 | 16053 | 16758 |
| 100 | 16483 | 23475  | 39959  | -10727 | 16404 | 16296 | 17143 |
| 110 | 17481 | 31466  | 48947  | -10638 | 16686 | 16592 | 17612 |
| 120 | 18184 | 41207  | 59391  | -10621 | 17030 | 16952 | 18184 |
| 130 | 18888 | 52821  | 71710  | -10642 | 17708 | 17651 | 0     |
| 140 | 19416 | 66915  | 86331  | -10685 | 18599 | 18568 | 0     |
| 150 | 19944 | 83835  | 103779 | -10739 | 19944 | 19944 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode: 120 Jahre  
 Optimaler Wert des Bodens: -10621 Fr./ha  
 Kapitalwertberichtigungsfaktor: -211 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 2.5 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7319  | 7175  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -40358 | 8249  | 8106  | 8280  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -25687 | 9440  | 9298  | 9509  |
| 30  | 1936  | 0      | 1936   | -19131 | 10964 | 10824 | 11084 |
| 40  | 4634  | 199    | 4833   | -15702 | 12715 | 12578 | 12900 |
| 50  | 7098  | 1649   | 8746   | -13641 | 13763 | 13628 | 14030 |
| 60  | 9503  | 4168   | 13671  | -12358 | 14441 | 14309 | 14812 |
| 70  | 11615 | 7857   | 19472  | -11603 | 14844 | 14717 | 15350 |
| 80  | 13492 | 12845  | 26337  | -11164 | 15094 | 14972 | 15772 |
| 90  | 15134 | 19297  | 34431  | -10932 | 15348 | 15234 | 16247 |
| 100 | 16483 | 27621  | 44105  | -10825 | 15606 | 15502 | 16788 |
| 110 | 17481 | 38278  | 55759  | -10797 | 15937 | 15845 | 17481 |
| 120 | 18184 | 51919  | 70104  | -10807 | 16361 | 16284 | 0     |
| 130 | 18888 | 69116  | 88004  | -10834 | 17169 | 17112 | 0     |
| 140 | 19416 | 91062  | 110479 | -10869 | 18270 | 18238 | 0     |
| 150 | 19944 | 118890 | 138835 | -10906 | 19944 | 19944 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode: 110 Jahre  
 Optimaler Wert des Bodens: -10797 Fr./ha  
 Kapitalwertberichtigungsfaktor: -269 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 3 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7319  | 7203  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -34357 | 8078  | 7963  | 8110  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -22155 | 9099  | 8984  | 9173  |
| 30  | 1936  | 0      | 1936   | -16847 | 10470 | 10357 | 10601 |
| 40  | 4634  | 204    | 4838   | -14172 | 12110 | 11997 | 12316 |
| 50  | 7098  | 1702   | 8800   | -12638 | 13088 | 12978 | 13397 |
| 60  | 9503  | 4396   | 13899  | -11730 | 13724 | 13615 | 14171 |
| 70  | 11615 | 8492   | 20106  | -11227 | 14102 | 13996 | 14734 |
| 80  | 13492 | 14268  | 27760  | -10955 | 14338 | 14236 | 15219 |
| 90  | 15134 | 22099  | 37233  | -10826 | 14587 | 14490 | 15802 |
| 100 | 16483 | 32691  | 49175  | -10778 | 14854 | 14764 | 16518 |
| 110 | 17481 | 46927  | 64407  | -10776 | 15213 | 15132 | 17481 |
| 120 | 18184 | 66058  | 84242  | -10793 | 15695 | 15626 | 0     |
| 130 | 18888 | 91496  | 110384 | -10818 | 16615 | 16563 | 0     |
| 140 | 19416 | 125615 | 145031 | -10843 | 17919 | 17889 | 0     |
| 150 | 19944 | 171196 | 191141 | -10867 | 19944 | 19944 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

110 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-10776 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-323 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 4 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7319  | 7248  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -26876 | 7831  | 7760  | 7860  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -17781 | 8589  | 8519  | 8660  |
| 30  | 1936  | 0      | 1936   | -14036 | 9712  | 9641  | 9845  |
| 40  | 4634  | 214    | 4848   | -12286 | 11159 | 11089 | 11384 |
| 50  | 7098  | 1816   | 8913   | -11375 | 12016 | 11946 | 12379 |
| 60  | 9503  | 4900   | 14403  | -10892 | 12572 | 12503 | 13137 |
| 70  | 11615 | 9965   | 21580  | -10658 | 12895 | 12827 | 13760 |
| 80  | 13492 | 17748  | 31240  | -10551 | 13087 | 13020 | 14396 |
| 90  | 15134 | 29341  | 44475  | -10514 | 13300 | 13236 | 15266 |
| 100 | 16483 | 46572  | 63055  | -10510 | 13545 | 13484 | 16483 |
| 110 | 17481 | 72078  | 89558  | -10521 | 13907 | 13851 | 0     |
| 120 | 18184 | 109833 | 128017 | -10536 | 14443 | 14394 | 0     |
| 130 | 18888 | 165434 | 184323 | -10549 | 15522 | 15483 | 0     |
| 140 | 19416 | 247666 | 267083 | -10561 | 17190 | 17167 | 0     |
| 150 | 19944 | 369105 | 389049 | -10570 | 19944 | 19944 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

100 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-10510 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-420 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 5 %

-----

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,1) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7319  | 7278  | 7319  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -22411 | 7670  | 7630  | 7693  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -15200 | 8243  | 8202  | 8301  |
| 30  | 1936  | 0      | 1936   | -12393 | 9175  | 9135  | 9293  |
| 40  | 4634  | 225    | 4859   | -11180 | 10470 | 10429 | 10684 |
| 50  | 7098  | 1938   | 9036   | -10609 | 11231 | 11190 | 11601 |
| 60  | 9503  | 5478   | 14981  | -10339 | 11721 | 11681 | 12347 |
| 70  | 11615 | 11767  | 23382  | -10227 | 11996 | 11956 | 13038 |
| 80  | 13492 | 22312  | 35804  | -10186 | 12145 | 12105 | 13864 |
| 90  | 15134 | 39564  | 54698  | -10179 | 12312 | 12274 | 15134 |
| 100 | 16483 | 67739  | 84222  | -10184 | 12510 | 12473 | 0     |
| 110 | 17481 | 113634 | 131114 | -10192 | 12832 | 12797 | 0     |
| 120 | 18184 | 188391 | 206576 | -10200 | 13356 | 13324 | 0     |
| 130 | 18888 | 309864 | 328753 | -10206 | 14509 | 14484 | 0     |
| 140 | 19416 | 507656 | 527072 | -10211 | 16463 | 16447 | 0     |
| 150 | 19944 | 829537 | 849481 | -10214 | 19944 | 19944 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

90 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-10179 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-509 Fr./ha und Jahr

Tabelle B.3.9 VOLKSWIRTSCHAFTLICHE GEWINNE  
-----\*\*\*\*\*

| Var              | 1 %    | 1.5 %  | 2 %    | 2.5 %  | 3 %    | 4 %    | 5 %    |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Bestandesgrößen  |        |        |        |        |        |        |        |
| VRa              | 197.41 | 197.41 | 197.41 | 197.41 | 197.41 | 197.41 | 197.41 |
| VRn              | 173.79 | 173.79 | 160.36 | 145.63 | 145.63 | 129.50 | 112.15 |
| ΔVR              | -23.62 | -23.62 | -37.05 | -51.78 | -51.78 | -67.91 | -85.26 |
| HKa              | 15920  | 15251  | 14604  | 13997  | 13444  | 12502  | 11760  |
| HKn              | 15525  | 14933  | 14091  | 13258  | 12827  | 11740  | 10782  |
| ΔHK              | -395   | -318   | -513   | -739   | -616   | -762   | -978   |
| BOa              | -8191  | -10099 | -10739 | -10906 | -10867 | -10570 | -10214 |
| BOn              | -8102  | -9984  | -10621 | -10797 | -10776 | -10510 | -10179 |
| ΔBO              | 89     | 114    | 118    | 109    | 91     | 59     | 35     |
| WAa              | 7729   | 5153   | 3864   | 3092   | 2576   | 1932   | 1546   |
| WAn              | 7423   | 4949   | 3470   | 2461   | 2051   | 1229   | 603    |
| ΔWA              | -305   | -204   | -395   | -630   | -525   | -703   | -943   |
| ΔHO              | 3274   | 3274   | 4837   | 6340   | 6340   | 7772   | 9105   |
| INV              | 2070   | 1991   | 2818   | 3535   | 3421   | 3913   | 4313   |
| HER              | 1204   | 1283   | 2019   | 2805   | 2920   | 3859   | 4792   |
| VWG              | 898    | 1079   | 1624   | 2175   | 2394   | 3156   | 3849   |
| VZW              | 11.63  | 20.95  | 42.02  | 70.34  | 92.94  | 163.33 | 249.03 |
| Jährliche Ströme |        |        |        |        |        |        |        |
| ERa              | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   |
| ERn              | 4.33   | 4.33   | 4.33   | 4.30   | 4.30   | 4.22   | 4.06   |
| ΔER              | 0.06   | 0.06   | 0.06   | 0.03   | 0.03   | -0.05  | -0.21  |
| GWa              | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  |
| GWn              | 74.23  | 74.23  | 69.39  | 61.54  | 61.54  | 49.18  | 30.16  |
| ΔGW              | -3.05  | -3.05  | -7.90  | -15.75 | -15.75 | -28.11 | -47.13 |
| iHE              | 12.04  | 19.24  | 40.37  | 70.12  | 87.59  | 154.34 | 239.60 |
| iVG              | 8.98   | 16.19  | 32.48  | 54.36  | 71.83  | 126.23 | 192.47 |

## B.4 Buche 16 m für ursprünglich 160 Jahre

### BERECHNUNG DES VOLKSWIRTSCHAFTLICHEN GEWINNES

Die Grundlage bildet: BUCHE 16 M  
\*\*\*\*\*

Eingabewerte:

Effekt. Massenzuwachs (fm/ha): 5.4

Gebietsbezeichnung: SCHWEIZ - Total öffentlicher Wald (Ø 75-84)

Umtriebszeit (bisher): 160  
Erntemenge (fm pro ha): 4.27

Inputkosten (Total einer ha): 7807.00  
Verwaltung/Unterhalt (pro ha): 172.69  
Nettoerlös (pro fm): 69.97

Tabelle B.4.1 HOLZMASSEN  
\*\*\*\*\*

alle Werte in fm/ha

| T   | Bestand | Durchforst. | Vorrat | Ernte | Ernte/Vorrat |
|-----|---------|-------------|--------|-------|--------------|
| 30  | 35.37   | 0.00        | 5.90   | 0.93  | 15.81        |
| 40  | 84.68   | 3.22        | 19.43  | 1.74  | 8.94         |
| 50  | 129.71  | 25.73       | 36.98  | 2.46  | 6.65         |
| 60  | 173.66  | 58.96       | 56.10  | 3.07  | 5.46         |
| 70  | 212.25  | 99.69       | 75.65  | 3.52  | 4.66         |
| 80  | 246.55  | 144.71      | 94.87  | 3.87  | 4.08         |
| 90  | 276.57  | 190.81      | 113.39 | 4.11  | 3.62         |
| 100 | 301.22  | 237.98      | 130.94 | 4.26  | 3.26         |
| 110 | 319.44  | 285.14      | 147.25 | 4.35  | 2.95         |
| 120 | 332.31  | 332.31      | 162.13 | 4.38  | 2.70         |
| 130 | 345.17  | 375.19      | 175.72 | 4.38  | 2.49         |
| 140 | 354.82  | 416.99      | 188.17 | 4.36  | 2.32         |
| 150 | 364.47  | 454.51      | 199.60 | 4.32  | 2.16         |
| 160 | 373.04  | 490.96      | 210.17 | 4.27  | 2.03         |

Tabellen B.4.2 bis B.4.8 BODEN- UND HOLZKAPITALWERTE  
\*\*\*\*\*

Zinssatz = 1 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X   | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0     | 0      | 7807  | 7521  | 7807  |
| 10  | 0     | 0      | 0     | -99697 | 9518  | 9239  | 9537  |
| 20  | 0     | 0      | 0     | -60532 | 11408 | 11138 | 11448 |
| 30  | 1957  | 0      | 1957  | -41893 | 13495 | 13235 | 13558 |
| 40  | 4685  | 187    | 4872  | -31079 | 15615 | 15364 | 15703 |
| 50  | 7176  | 1516   | 8692  | -23703 | 16833 | 16594 | 16950 |
| 60  | 9608  | 3607   | 13215 | -18455 | 17556 | 17330 | 17704 |
| 70  | 11743 | 6353   | 18096 | -14856 | 17918 | 17706 | 18100 |
| 80  | 13641 | 9635   | 23276 | -12362 | 18069 | 17872 | 18289 |
| 90  | 15302 | 13324  | 28626 | -10705 | 18173 | 17993 | 18435 |
| 100 | 16666 | 17460  | 34126 | -9638  | 18226 | 18064 | 18534 |
| 110 | 17674 | 22030  | 39704 | -9029  | 18284 | 18143 | 18643 |
| 120 | 18386 | 27077  | 45463 | -8706  | 18348 | 18230 | 18764 |
| 130 | 19098 | 32404  | 51501 | -8561  | 18669 | 18576 | 19146 |
| 140 | 19631 | 38225  | 57856 | -8542  | 19085 | 19020 | 19631 |
| 150 | 20165 | 44406  | 64571 | -8615  | 19794 | 19760 | 0     |
| 160 | 20640 | 51171  | 71811 | -8723  | 20640 | 20640 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

140 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-8542 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-84 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 1.5 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X   | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0     | 0      | 7807  | 7556  | 7807  |
| 10  | 0     | 0      | 0     | -67949 | 9204  | 8958  | 9232  |
| 20  | 0     | 0      | 0     | -41828 | 10826 | 10584 | 10886 |
| 30  | 1957  | 0      | 1957  | -29709 | 12709 | 12472 | 12805 |
| 40  | 4685  | 192    | 4877  | -22919 | 14701 | 14471 | 14841 |
| 50  | 7176  | 1564   | 8741  | -18475 | 15864 | 15641 | 16054 |
| 60  | 9608  | 3796   | 13404 | -15441 | 16574 | 16360 | 16822 |
| 70  | 11743 | 6833   | 18577 | -13452 | 16951 | 16747 | 17267 |
| 80  | 13641 | 10614  | 24255 | -12139 | 17133 | 16940 | 17527 |
| 90  | 15302 | 15065  | 30367 | -11317 | 17280 | 17101 | 17765 |
| 100 | 16666 | 20295  | 36961 | -10825 | 17387 | 17224 | 17977 |
| 110 | 17674 | 26365  | 44039 | -10575 | 17511 | 17366 | 18224 |
| 120 | 18386 | 33409  | 51795 | -10468 | 17656 | 17531 | 18510 |
| 130 | 19098 | 41328  | 60425 | -10443 | 18078 | 17979 | 19098 |
| 140 | 19631 | 50454  | 70086 | -10473 | 18633 | 18562 | 0     |
| 150 | 20165 | 60791  | 80956 | -10539 | 19332 | 19494 | 0     |
| 160 | 20640 | 72722  | 93362 | -10615 | 20640 | 20640 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

130 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-10443 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-155 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 2 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7807  | 7601  | 7807  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -52091 | 8946  | 8742  | 8979  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -32507 | 10334 | 10132 | 10407 |
| 30  | 1957  | 0      | 1957   | -23651 | 12025 | 11827 | 12148 |
| 40  | 4685  | 196    | 4882   | -18863 | 13891 | 13696 | 14073 |
| 50  | 7176  | 1615   | 8791   | -15860 | 14987 | 14797 | 15242 |
| 60  | 9608  | 3998   | 13606  | -13899 | 15669 | 15483 | 16012 |
| 70  | 11743 | 7362   | 19105  | -12675 | 16040 | 15862 | 16492 |
| 80  | 13641 | 11725  | 25366  | -11911 | 16232 | 16061 | 16816 |
| 90  | 15302 | 17108  | 32410  | -11464 | 16400 | 16239 | 17144 |
| 100 | 16666 | 23736  | 40402  | -11222 | 16539 | 16389 | 17479 |
| 110 | 17674 | 31815  | 49489  | -11119 | 16708 | 16573 | 17888 |
| 120 | 18386 | 41663  | 60049  | -11092 | 16915 | 16798 | 18386 |
| 130 | 19098 | 53407  | 72504  | -11105 | 17429 | 17333 | 0     |
| 140 | 19631 | 67656  | 87288  | -11141 | 18121 | 18051 | 0     |
| 150 | 20165 | 84764  | 104930 | -11191 | 19227 | 19188 | 0     |
| 160 | 20640 | 105554 | 126194 | -11242 | 20640 | 20640 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

120 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-11092 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-221 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 2.5 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7807  | 7646  | 7807  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -42588 | 8735  | 8575  | 8770  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -26939 | 9924  | 9765  | 10003 |
| 30  | 1957  | 0      | 1957   | -20044 | 11445 | 11288 | 11582 |
| 40  | 4685  | 201    | 4887   | -16448 | 13192 | 13036 | 13401 |
| 50  | 7176  | 1667   | 8843   | -14289 | 14219 | 14065 | 14522 |
| 60  | 9608  | 4214   | 13822  | -12945 | 14863 | 14713 | 15285 |
| 70  | 11743 | 7944   | 19687  | -12150 | 15218 | 15072 | 15793 |
| 80  | 13641 | 12987  | 26629  | -11684 | 15404 | 15262 | 16175 |
| 90  | 15302 | 19510  | 34812  | -11433 | 15575 | 15440 | 16597 |
| 100 | 16666 | 27928  | 44594  | -11313 | 15727 | 15600 | 17069 |
| 110 | 17674 | 38702  | 56377  | -11275 | 15921 | 15804 | 17674 |
| 120 | 18386 | 52495  | 70881  | -11279 | 16169 | 16066 | 0     |
| 130 | 19098 | 69882  | 88979  | -11301 | 16756 | 16670 | 0     |
| 140 | 19631 | 92072  | 111703 | -11333 | 17574 | 17509 | 0     |
| 150 | 20165 | 120208 | 140373 | -11367 | 18889 | 18853 | 0     |
| 160 | 20640 | 156158 | 176798 | -11400 | 20640 | 20640 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

110 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-11275 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-281 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 3 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7807  | 7681  | 7807  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -36264 | 8566  | 8441  | 8601  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -23248 | 9587  | 9462  | 9668  |
| 30  | 1957  | 0      | 1957   | -17662 | 10958 | 10834 | 11102 |
| 40  | 4685  | 206    | 4892   | -14852 | 12595 | 12472 | 12822 |
| 50  | 7176  | 1721   | 8898   | -13241 | 13557 | 13436 | 13897 |
| 60  | 9608  | 4444   | 14053  | -12287 | 14163 | 14043 | 14654 |
| 70  | 11743 | 8586   | 20329  | -11753 | 14495 | 14378 | 15191 |
| 80  | 13641 | 14426  | 28067  | -11462 | 14667 | 14553 | 15636 |
| 90  | 15302 | 22344  | 37646  | -11320 | 14830 | 14719 | 16166 |
| 100 | 16666 | 33054  | 49720  | -11263 | 14979 | 14874 | 16810 |
| 110 | 17674 | 47447  | 65121  | -11255 | 15179 | 15082 | 17674 |
| 120 | 18386 | 66790  | 85176  | -11268 | 15449 | 15361 | 0     |
| 130 | 19098 | 92510  | 111608 | -11289 | 16086 | 16012 | 0     |
| 140 | 19631 | 127007 | 146639 | -11313 | 17012 | 16955 | 0     |
| 150 | 20165 | 173094 | 193259 | -11336 | 18530 | 18498 | 0     |
| 160 | 20640 | 234961 | 255601 | -11355 | 20640 | 20640 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

110 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-11255 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-337 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 4 %

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i) | f+X    | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0      | 0      | 0      | 7807  | 7737  | 7807  |
| 10  | 0     | 0      | 0      | -28381 | 8321  | 8251  | 8350  |
| 20  | 0     | 0      | 0      | -18679 | 9082  | 9012  | 9153  |
| 30  | 1957  | 0      | 1957   | -14732 | 10209 | 10139 | 10342 |
| 40  | 4685  | 216    | 4902   | -12889 | 11660 | 11590 | 11886 |
| 50  | 7176  | 1836   | 9012   | -11927 | 12509 | 12439 | 12873 |
| 60  | 9608  | 4954   | 14562  | -11415 | 13044 | 12975 | 13611 |
| 70  | 11743 | 10076  | 21819  | -11163 | 13331 | 13263 | 14199 |
| 80  | 13641 | 17945  | 31586  | -11046 | 13467 | 13400 | 14781 |
| 90  | 15302 | 29666  | 44968  | -11002 | 13597 | 13531 | 15570 |
| 100 | 16666 | 47088  | 63754  | -10994 | 13717 | 13653 | 16666 |
| 110 | 17674 | 72877  | 90551  | -11002 | 13894 | 13833 | 0     |
| 120 | 18386 | 111050 | 129436 | -11015 | 14156 | 14100 | 0     |
| 130 | 19098 | 167268 | 186365 | -11028 | 14833 | 14785 | 0     |
| 140 | 19631 | 250411 | 270043 | -11038 | 15908 | 15869 | 0     |
| 150 | 20165 | 373195 | 393361 | -11047 | 17786 | 17764 | 0     |
| 160 | 20640 | 554874 | 575513 | -11054 | 20640 | 20640 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

100 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-10994 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-439 Fr./ha und Jahr

Zinssatz = 5 %

-----

Alle Werte in Fr./ha

| T   | f(T)  | X(T,i)  | f+X     | B      | Sa    | Sab   | Sn    |
|-----|-------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|
| 0   | 0     | 0       | 0       | 0      | 7807  | 7769  | 7807  |
| 10  | 0     | 0       | 0       | -23675 | 8161  | 8123  | 8182  |
| 20  | 0     | 0       | 0       | -15983 | 8737  | 8700  | 8792  |
| 30  | 1957  | 0       | 1957    | -13022 | 9676  | 9639  | 9786  |
| 40  | 4685  | 227     | 4913    | -11740 | 10979 | 10941 | 11178 |
| 50  | 7176  | 1960    | 9136    | -11134 | 11738 | 11700 | 12083 |
| 60  | 9608  | 5538    | 15147   | -10846 | 12217 | 12179 | 12800 |
| 70  | 11743 | 11898   | 23641   | -10723 | 12467 | 12430 | 13439 |
| 80  | 13641 | 22560   | 36201   | -10676 | 12573 | 12536 | 14176 |
| 90  | 15302 | 40002   | 55304   | -10665 | 12669 | 12633 | 15302 |
| 100 | 16666 | 68490   | 85156   | -10668 | 12750 | 12714 | 0     |
| 110 | 17674 | 114893  | 132568  | -10676 | 12882 | 12848 | 0     |
| 120 | 18386 | 190479  | 208865  | -10683 | 13097 | 13065 | 0     |
| 130 | 19098 | 313299  | 332396  | -10689 | 13750 | 13721 | 0     |
| 140 | 19631 | 513282  | 532914  | -10693 | 14889 | 14866 | 0     |
| 150 | 20165 | 838731  | 858896  | -10696 | 17048 | 17033 | 0     |
| 160 | 20640 | 1368777 | 1389417 | -10698 | 20640 | 20640 | 0     |

Optimale Länge der Produktionsperiode:

90 Jahre

Optimaler Wert des Bodens:

-10665 Fr./ha

Kapitalwertberichtigungsfaktor:

-533 Fr./ha und Jahr

Tabelle B.4.9 VOLKSWIRTSCHAFTLICHE GEWINNE  
\*\*\*\*\*

| Var              | 1 %    | 1.5 %  | 2 %    | 2.5 %  | 3 %    | 4 %    | 5 %    |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Bestandesgrößen  |        |        |        |        |        |        |        |
| VRa              | 210.17 | 210.17 | 210.17 | 210.17 | 210.17 | 210.17 | 210.17 |
| VRn              | 188.17 | 175.72 | 162.13 | 147.25 | 147.25 | 130.94 | 113.39 |
| ΔVR              | -22.00 | -34.45 | -48.04 | -62.92 | -62.92 | -79.23 | -96.78 |
| HKa              | 16452  | 15767  | 15107  | 14491  | 13932  | 12986  | 12244  |
| HKn              | 16199  | 15366  | 14526  | 13693  | 13269  | 12183  | 11223  |
| ΔHK              | -253   | -402   | -581   | -798   | -662   | -803   | -1021  |
| BOa              | -8723  | -10615 | -11242 | -11400 | -11355 | -11054 | -10698 |
| BOn              | -8542  | -10443 | -11092 | -11275 | -11255 | -10994 | -10665 |
| ΔBO              | 181    | 172    | 151    | 124    | 100    | 60     | 33     |
| WAa              | 7729   | 5153   | 3864   | 3092   | 2576   | 1932   | 1546   |
| WAn              | 7657   | 4923   | 3434   | 2417   | 2014   | 1189   | 558    |
| ΔWA              | -72    | -230   | -430   | -674   | -562   | -743   | -988   |
| ΔHO              | 3185   | 4716   | 6197   | 7622   | 7622   | 8980   | 10243  |
| INV              | 2025   | 2881   | 3631   | 4279   | 4147   | 4569   | 4910   |
| HER              | 1161   | 1835   | 2566   | 3343   | 3476   | 4411   | 5333   |
| VWG              | 1088   | 1605   | 2136   | 2669   | 2914   | 3668   | 4345   |
| V%W              | 14.08  | 31.15  | 55.26  | 86.34  | 113.11 | 189.82 | 281.08 |
| Jährliche Ströme |        |        |        |        |        |        |        |
| ERa              | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   | 4.27   |
| ERn              | 4.36   | 4.38   | 4.38   | 4.35   | 4.35   | 4.26   | 4.11   |
| ΔER              | 0.09   | 0.11   | 0.11   | 0.08   | 0.08   | -0.01  | -0.16  |
| GWa              | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  | 77.29  |
| GWn              | 76.57  | 73.84  | 68.68  | 60.43  | 60.43  | 47.57  | 27.89  |
| ΔGW              | -0.72  | -3.45  | -8.60  | -16.85 | -16.85 | -29.72 | -49.40 |
| iHE              | 11.61  | 27.52  | 51.32  | 83.58  | 104.27 | 176.43 | 266.64 |
| iVG              | 10.88  | 24.08  | 42.71  | 66.73  | 87.42  | 146.71 | 217.24 |

LITERATURVERZEICHNIS

- Anderson, F.J.; 1976 : Control Theory and the Optimum Timber Rotation  
Forest Science, Vol. 22, pp.242-246
- Bachmann, R.P.; 1968 : Untersuchungen zur Wahl des Verjüngungszeitpunktes im Waldbau  
Diss. ETH, Zürich
- Bensoussan, A./Hurst, E.G./Näslund, B.; 1974 : Management Applications of Modern Control Theory  
North-Holland Publishing Company, Amsterdam, Oxford
- Bentley, W.R./Teeguarden, D.E.; 1965 : Financial Maturity: A Theoretical Review  
Forest Science, Vol. 11, pp.76-87
- Böhlen, B.; 1984 : Die Luftverschmutzung als Hauptquelle des Waldsterbens  
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Bd. 135, S.959-967
- Bucher, J.B./Kaufmann, E./Landolt, W.; 1984 : Waldschäden in der Schweiz, Interpretation der Sanasilva-Umfrage und der Fichtennadelanalysen aus der Sicht des forstlichen Immissions-schutzes  
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Bd. 135, S.271-287
- Bülow, F.; 1958 : Johann Heinrich von Thünen als forstwirtschaftlicher Denker  
Weltwirtschaftliches Archiv, Bd. 80, S.183-233
- Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz; 1985 : Ergebnisse der Sanasilva-Waldschadeninventur 1985  
Bern

Clark, C.W.; 1976 : Mathematical Bioeconomics; The Optimal Management of Renewable Resources  
John Wiley & Sons, New York

Comolli, P.M.; 1981 : Principles and Policy in Forestry Economics  
Bell Journal of Economics, Vol. 12, pp.300-309

Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen; 1967 : Ertragstafel für die Buche

Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen; 1968 : Ertragstafel für die Fichte

Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen; 1969 : Ertragstafel für die Lärche

Eidg. Statistisches Amt; 1977 : Eidgenössische Betriebszählung 1975, Oeffentliche und private Forstbetriebe  
Statistische Quellenwerke der Schweiz, Heft 584, Bern

Eidg. Statistisches Amt : Jahrbuch der schweizerischen Wald- und Holzwirtschaft  
Statistische Quellenwerke der Schweiz, diverse Jahrgänge, Bern

Eidg. Statistisches Amt : Statistisches Jahrbuch der Schweiz, diverse Jahrgänge  
Bern

Faustmann, M.; 1849 : Berechnung des Werthes welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirthschaft besitzen  
Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, S.441-455

Fisher, I.; 1930 : The Theory of Interest  
The Macmillan Company, New York  
reprinted 1977 by Porcupine Press, Inc., Philadelphia

Forststatistik, diverse Jahrgänge

in: Jahrbuch der schweizerischen Wald- und Holzwirtschaft

Frömbling, C.; 1912 : Wie sich die Reinertragstheorie gegen den Wald versündigt

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Bd. 63, S.1-7

Gaffney, M., 1960 : Concepts of Financial Maturity of Timber and other Assets

Agricultural Economics Information Series No. 62, North Carolina State College, Raleigh, N.C.

Gane, M.; 1968 : Martin Faustmann and the Evolution of Discounted Cash Flows

Commonwealth Forestry Institute Paper No. 42, Oxford

Gesamtkonzeption für eine schweizerische Wald- und Holzwirtschaftspolitik; 1975

Hauptbericht der vom Eidg. Departement des Innern am 16.8.1971 eingesetzten Expertenkommission, Bern

Goundry, G.K.; 1960 : Forest Management and the Theory of Capital

Canadian Journal of Economics and Political Science, Vol. 26, pp.439-451

Heaps, T./Neher, P.A.; 1979 : The Economics of Forestry when the Rate of Harvest is Constrained

Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 6, pp.297-319

Hirshleifer, J.; 1970 : Investment, Interest, and Capital

Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.

Hyde, W.F.; 1980 : Timber Supply, Land Allocation, and Economic Efficiency

Published for Resources of the Future Inc., by the Johns Hopkins University Press, Baltimore and London

- Kaufmann, E./Bucher, J.B./Landolt, W./Jud, B./Hoffmann, C.; 1984 :  
Waldschäden in der Schweiz - 1983  
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Bd. 135, S.817-831
- Kemp, M.C./Moore, E.J.; 1979 : Biological Capital Theory : A Question and Conjecture  
Economics Letters, Vol. 4, pp.141-144
- Krebs, E.; 1958 : Besondere Probleme der Waldwertrechnung  
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Bd. 109, S.569-580.
- Landolt, E.; 1888 : Ueber die Wahl der Umtriebszeit  
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, S.10-20.
- Landolt, E.; 1891a : Wie weit haben wir bei der Wahl der Umtriebszeit der Verzinsung des durch den Wald repräsentierten Kapitals Rechnung zu tragen?  
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, S.98-104.
- Landolt, E.; 1891b : Umtriebszeit und Verzinsung des Waldkapitals  
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, S.211-219
- Leibundgut, H./Auer, C./Wieland, C.; 1971 : Ergebnisse von Durchforstungsversuchen 1930-1965 in Sihlwald  
Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Bd. 47, Heft 4
- Ley, C./Matthies, F.; 1985 : Zur Bewertungsmethodik für Waldschäden durch Luftverunreinigungen  
Der Forst- und Holzwirt, Jg. 40, S.118-127
- Löfgren, K.G.; 1983 : The Faustmann-Ohlin-Theorem: A Historical Note  
History of Political Economy, Vol. 15, pp.261-264

- Manz, P.; 1986 : Forestry Economics in the Steady State - The Contribution of J.H. von Thünen  
History of Political Economy, Vol. 18, pp.281-290
- Näslund, B.; 1969 : Optimal Rotation and Thinning  
Forest Science, Vol. 15, pp.446-451
- Ott, E.; 1972 : Erhebungen über den gegenwärtigen Zustand des Schweizer Waldes als Grundlage waldbaulicher Zielsetzungen  
Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Bd. 48, Heft 1
- Pearse, P.; 1967 : The Optimum Forest Rotation  
Forestry Chronicle, Vol. 43, pp.178-195
- Rätzer, E.; 1983 : Die Pensionskasse aus ökonomischer Sicht  
Berner Beiträge zur Nationalökonomie, Bd. 46, Verlag Paul Haupt, Bern und Stuttgart
- Rieder, P.; 1950 : Der Waldwert im Enteignungsrecht  
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Bd. 101, S.148-161
- Samuelson, P.A.; 1976 : Economics of Forestry in an Evolving Society  
Economic Inquiry, Vol. 14, pp.466-492
- Schmid-Haas, P.; 1985 : Der Gesundheitszustand des Schweizer Waldes 1984  
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Bd. 136, S.251-273
- Schreuder, G.; 1971 : The Simultaneous Determination of Optimal Thinning Schedule and Rotation for an Even-Aged Forest  
Forest Science, Vol. 17, pp.333-339
- Schweizerische Nationalbank : Monatsberichte der Schweizerischen Nationalbank, diverse Jahrgänge

Smith, V.L.; 1977 : Control Theory Applied to Natural and Environmental Resources, An Exposition  
Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 4,  
pp.1-24

von Thünen, J.H.; 1875 : Der isolirte Staat in Beziehung zu Landwirtschaft und Nationalökonomie  
3. Aufl., Verlag von Wiegand, Hempel und Parey, Berlin

unbekannter Autor; 1855 : Von den Potenzen als Hilfsmittel für Zins- und Zinseszins-Berechnungen in der Waldwirtschaft  
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, S.17-29

Wagner, C.; 1928 : Lehrbuch der theoretischen Forsteinrichtung  
Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin

Wicksell, K.; 1913 : Vorlesungen über Nationalökonomie  
Band I, Verlag von Gustav Fischer, Jena

Wild, M.; 1893 : Rentabilität einer Waldpflanzung in den Alpen  
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, S.102-111



